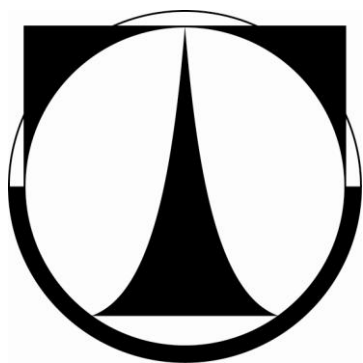


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ



# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**LIBEREC 2013**

**MILAN ČOŽÍK**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA TEXTILNÍ  
Katedra textilní chemie



Studijní program: B3107 Textil  
Studijní obor: 3106R002-90 Chemická technologie textilní

Mapování prvků v ploše textílie metodou LIBS  
Mapping elements in the area of textile by LIBS  
KMI-002

**Autor:** Milan Čožík  
**Vedoucí práce:** Ing. Mária Průšová  
**Konzultant:** prof. Ing. Jakub Wiener, PhD.

**Rozsah práce:**

Počet stran textu ... 50  
Počet obrázků ..... 48  
Počet tabulek ..... 7  
Počet grafů ..... 5  
Počet stran příloh . 27

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta textilní**

**Akademický rok: 2012/2013**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

Jméno a příjmení: **Milan Čožík**  
Osobní číslo: **T10000508**  
Studijní program: **B3107 Textil**  
Studijní obor: **Chemická technologie textilní**  
Název tématu: **Mapování prvků v ploše textilie metodou LIBS**  
Zadávající katedra: **Katedra textilní chemie**

### **Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

- 1) Rešerše
- 2) Bavlněnou textilií nehořlavě upravte pomocí kyseliny fosforečné
- 3) Na připravených vzorcích ověřte definovaně jejich hořlavost
- 4) Na vzorcích po testu hořlavosti sledujte plošnou distribuci fosforu a uhlíku metodou LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy)
- 5) Výsledky diskutujte

### P r o h l á š e n í

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis



### ***Poděkování***

*Touto cestou bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě této bakalářské práce.*

*Zejména bych chtěl poděkovat mé vedoucí Ing. Márii Průšové za její vstřícný přístup, cenné rady a připomínky při vedení této bakalářské práce.*

*Dále bych chtěl poděkovat prof. Ing. Jakubovi Wienerovi, PhD. za konzultace, odborné rady a připomínky při tvorbě této práce.*

*V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia a při tvorbě této bakalářské práce.*

*Milan Čožík*

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá bavlněnou textilií a její nehořlavou úpravou, kyselinou fosforečnou.

Cílem této bakalářské práce je stanovení změny hodnot uhlíku a fosforu při různých časových délkách expozice plamenem.

Teoretická část obsahuje informace o použitém přístroji LEA – S500 a principu metody LIBS. Dále je v této části popsána bavlna a její vlastnosti a popis nehořlavých úprav používaných v textilním průmyslu. Praktická část je zaměřena na postup přípravy vzorků a výsledky z měření metodou LIBS. Dále jsou zde uvedeny další komparační metody jako např. XRF spektrometrie, elektronová mikroskopie a použití IR teploměru.

Na závěr je uvedeno vyhodnocení výsledků a diskuze.

### **Klíčová slova:**

LIBS, bavlna, nehořlavá úprava, laser, laserová ablace, LEA – S500

## ABSTRACT

This thesis deals with cotton fabric and its fire retardant treatment, phosphoric acid.

The aim of this work is to determine the changes in the values of carbon and phosphorus during different time lengths of exposure to flame.

The theoretical part contains information about the used device LEA - S500 and the principle of LIBS. It is described in this section cotton and its properties and description of non-combustible changes in the textile industry. The practical part is focused on the sample preparation procedures and the results of measurements using LIBS. Furthermore, there are other comparative methods such as XRF spectrometry, electron microscopy, and using an IR thermometer.

Finally, the evaluation of the results and discussion.

### **Keywords:**

LIBS, cotton, fireproofing, laser, laser ablation, LEA - S500

## OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>8</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>9</b>
<b>1.    SPEKTROMETRIE LASEREM BUZENÉHO PLAZMATU (LIBS)..</b>	<b>9</b>
1.1    Princip LIBS .....	9
1.1.1    Laser .....	10
1.1.2    Princip laserové ablace .....	11
1.2    Spektrometr LEA-S500.....	12
1.3    Základní části LIBS .....	13
1.4    Novinky v LIBS .....	15
<b>2.    BAVLNA .....</b>	<b>16</b>
2.1    Historie bavlny .....	16
2.2    Struktura bavlny .....	17
2.3    Celulóza .....	18
2.3.1    Poškození celulózy .....	18
2.4    Vlastnosti bavlny .....	20
<b>3.    NEHOŘLAVÁ ÚPRAVA BAVLNY .....</b>	<b>21</b>
3.1    Teorie hoření .....	21
3.2    Hoření celulózy .....	22
3.3    Nehořlavá úprava.....	23
3.4    Technologie nehořlavých úprav .....	24
3.5    Hodnocení hořlavosti .....	25
<b>4.    EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>27</b>
4.1    Použitý materiál – bavlna .....	27
4.2    Nehořlavá úprava .....	27
4.2.1    Použité chemikálie.....	27
4.2.2    Příprava vzorků.....	27
4.3    Testování hořlavosti.....	29
4.4    Použité metody měření.....	32
4.4.1    Rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF).....	32
4.4.2    Elektronová mikroskopie.....	33
4.4.3    LIBS.....	33
4.4.4    Grafické zpracování dat.....	35

4.4.5	Statistické zpracování dat.....	36
4.5	Výsledky a diskuze.....	37
4.5.1	Měření IR teploměr.....	37
4.5.2	XRF spektrometrie.....	39
4.5.3	Elektronová mikroskopie (EDS).....	39
4.5.4	LIBS.....	39
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>46</b>
 <b>Použité zdroje a literatura.....</b>		<b>47</b>
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	49
	Seznam použitých obrázků.....	50
	Seznam použitých grafů.....	52
	Seznam použitých tabulek.....	53
	Seznam příloh.....	54

## ÚVOD

Ve své práci se zaměřuji na nehořlavou úpravu bavlny a změny hodnot uhlíku a fosforu po expozici takto, upravené bavlny, plamenem. Pro svou práci jsem použil pět vzorků bavlny, každý z těchto vzorků byl exponován plamenem po jinou dobu. Poté bylo využito metody LIBS ke zjištění změn hodnot uhlíku a fosforu v těchto vzorcích.

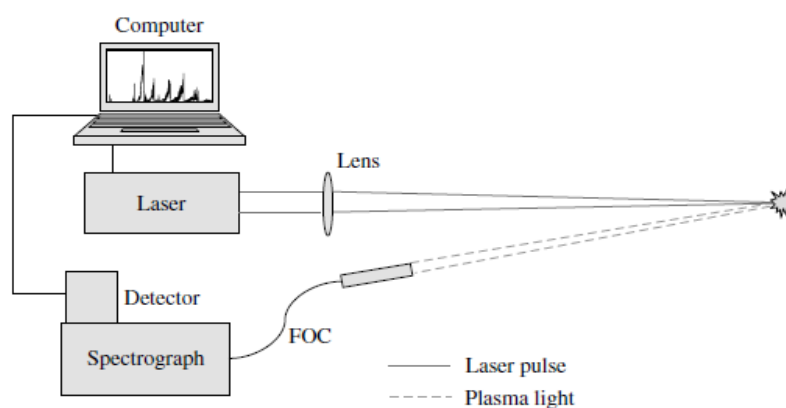
Cílem této práce bylo zjistit závislost množství uhlíku a fosforu na době expozice plamenem za využití metody LIBS na přístroji LEA – S500.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. První část je teoretická kde je popsána metoda LIBS a její využití. Je zde také popsána bavlna, její historie, využití, chemické a fyzikální vlastnosti. Dále je zde popsána nehořlavá úprava a její použití v textilním průmyslu.

V experimentální části bylo provedeno měření metodou LIBS na přístroji LEA – S500. Měřeno bylo celkem pět vzorků bavlny s nehořlavou úpravou, na nichž byla provedena expozice plamenem pro různou dobu, přičemž byla měřena teplota vzorku v průběhu expozice IR teploměrem. Jako komparační metody byly využity elektronová mikroskopie a XRF mikroskopie. Každé toto měření je popsáno a vyhodnoceno.

# 1 SPEKTROMETRIE LASEREM BUZENÉHO PLAZMATU (LIBS)

Spektrometrie laserem buzeného plazmatu (Laser induced-breakdown spectroscopy-LIBS), také někdy známa jako spektrometrie laserem indukovaného plazmatu (Laser induced plasma spectroscopy - LIPS), je druh atomové emisní spektroskopie, která využívá k excitaci vzorku laserový puls ke kvantitativnímu a kvalitativnímu stanovení materiálů. Metodou LIBS je možné provádět analýzu velkého počtu plynných, kapalných i pevných vzorků. Umožňuje velmi rychlé stanovení s velmi malým poškozením vzorku. Tato metoda je použitelná i pro identifikaci látek na dálku.



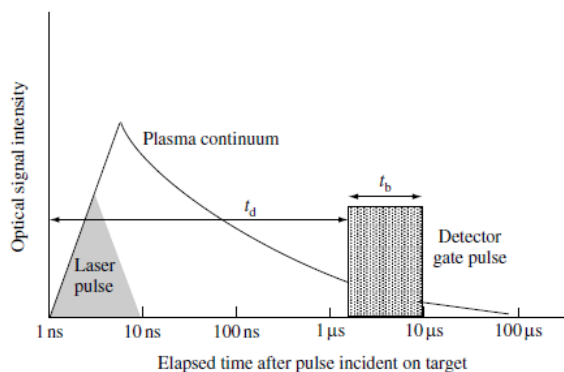
Obr. 1 Základní schéma zařízení LIBS [1]

## 1.1 Princip LIBS

Metoda LIBS umožňuje spektrometrickou analýzu pevných, kapalných i plynných látek. Základním principem této techniky je působení velmi krátkého vysoko energetického laserového pulsu na vzorek. Dojde k excitaci vzorku a k laserové ablaci.

Laser vzorek zahřívá, vypařuje a ionizuje, vytváří se plazma. Délka trvání laserového pulsu je v jednotkách ns. Laser je zaměřen na malou plochu vzorku, na kterém se vytvoří kráter a dojde k odpaření vzorku. Během působení laserových pulsů dochází k zahřívání a tím i k emisi záření. Toto záření je nevyužitelné pro metodu LIBS. Záření, které je již využitelné, vzniká až během ochlazování [1]. Dochází vyzáření energie iontů a elektronů. Obr. 2 znázorňuje časový průběh vzniku emisního záření a čas, kdy měření začíná. Každý prvek má svou jedinečnou spektrální čáru a podle této čáry je také detekován. Toto záření je poté zpracováno spektrometrem.

Ve spektru tohoto záření lze pak pozorovat emisní křivky jednotlivých prvků a podle intenzit určit jejich obsah ve vzorku. Velkou výhodou této metody je rychlost, to že se jedná o nedestructivní metodu a vzorky mohou být použity znovu, možnost provádění dálkového měření až na 50 m, velmi malá nebo žádná náročnost na přípravu vzorku a možnost provádět analýzu velmi tvrdých vzorků jako jsou např.: keramika, kovy nebo horniny.



Obr. 2 Časový průběh emise plazmy [1]

### 1.1.1 Laser

Slovo laser pochází z angličtiny. Je to zkratka pro *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. Do českého jazyka se dá přeložit jako zesílení světla pomocí stimulované emise záření. Velkou výhodou laserového paprsku je jeho koherentnost, tedy vlastnost šířit se v úzkém paprsku, monochromaticnost (jednobarevnost) a nízká divergence (rozbíhavost).

I když existuje velké množství druhů laserů, každý z nich obsahuje tři základní součásti. Jsou to laserové aktivní prostředí, zdroj energie a rezonátor. Nejdůležitějším procesem probíhajícím v laseru je proces stimulované emise.

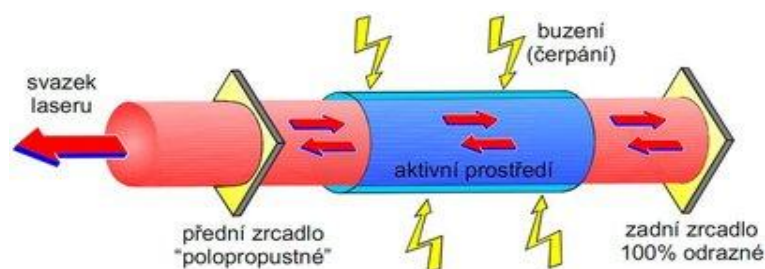
Zdrojem energie, kterým může být optický zdroj (výbojka), chemický nebo elektrický, je dodávána energie do aktivního prostředí. Takto dodávána energie vybudí elektrony ze základní energetické hladiny do energetické hladiny vyšší, dojde k tzv. excitaci. Při zpětném návratu elektronů do nižších energetických hladin, dojde k vyzáření (emisi) energie. Tato energie následně reaguje s dalšími elektrony. Tím spouští stimulovanou emisi fotonů. Díky tomu, že aktivní část laseru je umístěna do rezonátoru např. zrcadla, dochází k odrazu emitujících fotonů a jejich opakujícímu se průchodu prostředím. To dále způsobuje stimulovanou emisi a tím dochází k zesílení

toku fotonů. Paprsek fotonů pak opouští rezonátor přes polopropustné zrcadlo jako laserový svazek [2].

**Aktivní prostředí** – může být pevná, kapalná nebo plynná látka. V tomto prostředí dochází ke stimulované emisi.

**Optický rezonátor** – je to dutina, která je tvořena odrazovými plochami, nejjednodušším příkladem jsou dvě rovnoběžně uložená zrcadla.

**Zdroj energie** – zdroj energie, který umožňuje excitaci atomů.



Obr. 3: Základní schéma laseru [3]

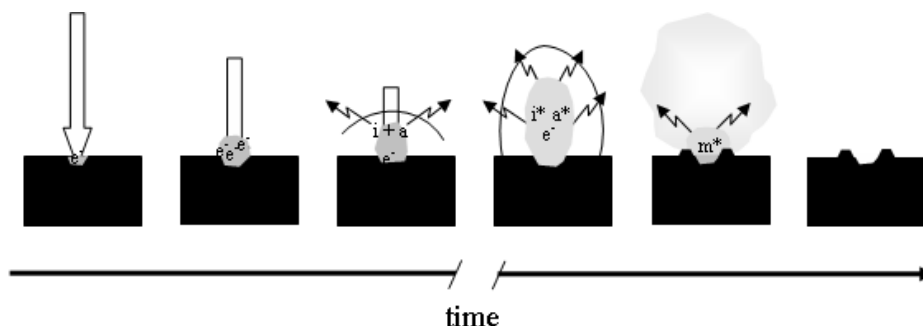
### 1.1.2 Princip laserové ablace

Laserová ablace je proces, který se využívá při analýze prvků metodou LIBS. Pojem laserová ablace představuje několik probíhajících procesů při dopadu laserového paprsku na zkoumaný materiál. Tyto procesy jsou exploze, tavení, eroze, sublimace, vymršťování částic, tvorba aerosolu a vznik tlakové vlny.

Laserový paprsek je zaostřen na malý povrch vzorku a při dostatečném výkonu dochází k laserové ablaci. Po dopadu laserového paprsku na povrch materiálu jsou dopadající fotony absorbovány atomy daného materiálu. Dochází k jevům, které jsou závislé na délce trvání pulsu, vlnové délce laserového záření a na fyzikálních a chemických vlastnostech vzorku. Materiál se za velmi krátkou dobu a na malé ploše ohřeje. Teplo se dostává dále do hloubky materiálu a vytváří se tenká roztavená vrstva. Tepelná energie se nadále zvyšuje a dochází k odpařování. Aby došlo k odpařování, dodané teplo musí dosáhnout teploty varu daného vzorku. Dalším zvyšováním energie dojde k ionizaci některých atomů, odtrhnou se elektrony a tím vytvoří plazmu obsahující nabitě částice (elektrony, ionty) z daného vzorku. Proces laserové ablace je znázorněn na obr. 4. Plazma se často označuje jako čtvrté skupenství hmoty. Při



ochlazování plazmy dochází k emisi záření. Toto záření obsahuje informace o kvalitativním a kvantitativním složení vzorku [1].



Obr. 4 Schéma laserové ablace [4]

## 1.2 Spektrometr LEA-S500

Spektrometr LEA-S500 je laserový analyzátor elementárních prvků (Laser Elemental Analyzer). Využívá se pro kvalitativní a kvantitativní analýzu složení materiálů, látek a surovin. Tento spektrometr využívá atomovou emisní spektrometrii (AES) nebo také známou jako optická emisní spektrometrie (OES). Je to plně automatizovaný spektrometr určený pro analýzu kompozitních materiálů, kovů, keramiky, skla, plastů, apod. [5]



Obr. 5 Spektrometr LEA-S500 [5]

Spektrometr LEA-S500 používá pevnolátkový laser Nd:YAG laser. Nd:YAG je laser generující neviditelné infračervené záření při vlnové délce 1064 nm. Jeho aktivním prostředím je neodymem dopovaný yttrium aluminium granát. Délka pulsu 10 ns. Zpoždění mezi pulsy 0 – 20  $\mu$ s. Energie pulsu 80 – 150 mJ. Velikost vzorku u tohoto spektrometru se pohybuje od 12x12x2 mm do 75x75x40 mm. Rozměry analyzované zóny jsou v rozmezí 0,3 – 1,7 mm. Detekci umožňuje CCD kamera o rozlišení 2048 x 14 px. Software umožňuje automatickou kalibraci, kontrolu analytických výsledků, grafické zobrazení analýzy. Doba analýzy se pohybuje od 10s do 180s v závislosti na množství stanovovaných prvků v materiálu [5].

Prvek	Be	B	C	Mg	Al	Si	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
ppm	0.1	1.2	10.0	0.5	1.0	5.0	0.3	0.5	2.0	0.5	1.0	4.0	0.8	0.5

Obr. 6 Detekční limity spektrometru u vybraných prvků [4]

### 1.3 Základní části LIBS

Části systému LIBS se dělí na několik komponentů. Některé z níže uvedených komponentů nemusí patřit mezi základní uspořádání, které je společné pro všechny systémy LIBS. Patří sem např. pulzní laser, který umožňuje ablaci a excitaci vzorku, zaostřovací optika, ablační komora, zařízení pro posuv vzorku, zařízení pro pozorování vzorku, optika pro snímání emise, spektrometr, detektor, zařízení pro zpracování signálu.

**A) Pulsní laser** – laserový spektrometr LEA-S500 používá pevnolátkový laser Nd:YAG laser. Nd:YAG je laser, který vydává infračervené záření při vlnové délce 1064 nm. Jeho aktivním prostředím je neodymem dopovaný yttrium aluminium granát. Délka pulsu je přibližně 10 ns. Zpoždění mezi pulsy je v rozmezí 0 – 20  $\mu$ s. Energie pulsu může být v rozmezí 80 – 150 mJ.

**B) Zaostřovací optika** – do této kategorie patří čočky, zrcadla, mikroskopické objektivy, optická vlákna. Veškeré optické zařízení slouží k zaměření a transport laserového pulsu.

**C) Optika pro snímání emise** – tato optika umožňuje zaostření a usměrnění laserového paprsku na vzorek. Nejjednodušší optikou jsou čočky. Dále se používají

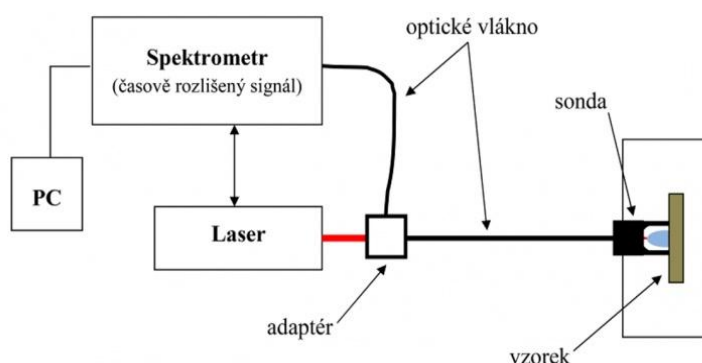
nejrůznější objektivy pro volbu velikosti měřené plochy. Optická vlákna se používají pro přivedení laserového pulsu ke vzorku.

**D) Abláční komora** – ablační komora umožňuje nastavení okolních podmínek, jako jsou tlak a teplota, nebo můžeme pomocí ní změnit složení okolního plynu.

**E) Sběrná optika** – slouží k vedení emitovaného záření do spektrometru. Obvykle se používá zrcátko s otvorem v kombinaci s jednoduchou čočkou nebo optické vlákno s objektivem.

**F) Spektrometr a CCD detektor** – nejčastěji se používají spektrometry typu Echelle a Czerny-Turner. CCD detektor je křemíkový polovodič, který obsahuje čtvercové fotocitlivé jednotky (pixely), které tvoří jednotlivé body výsledného obrazu. Rozlišení detektoru je 2048 x 14 px. Detektor umožňuje synchronizaci detekce s pulsy laseru a rychlé zpracování signálů.

**G) Software** – software umožňuje vizualizaci spektra, kontrolu parametrů a nastavení. Slouží ke zpracování a archivaci spekter a k analýze dat [5].



Obr. 7 Schéma uspořádání LIBS s optickým vláknem [6]

Velikost vzorku se pohybuje v rozmezí 12x12x2 mm do 75x75x40 mm. Rozměry analyzované zóny jsou v rozmezí 0,3 – 1,7 mm. Doba analýzy se pohybuje od 10s do 180s v závislosti na množství stanovovaných prvků v materiálu [6].

### Příklady dalších uspořádání LIBS

**A) Dvou pulzní (double pulse LIBS)** – tato technika využívá dvou pulzních laserových záření jdoucích rychle za sebou. Umožňuje kombinaci laserů s různou vlnovou délkou a délkou pulzu.

**B) Remote LIBS** – technika a uspořádání určené pro dálkovou detekci

**C) Portable LIBS** – přenosné zařízení

## 1.4 Novinky v LIBS

Metodou LIBS lze detekovat velké množství prvků a materiálů. Mezi pevné látky patří např.: kovy, keramika, polovodiče, polymery, zuby, půdy, kovy obsažené ve vodě, papír a dřevo. Je možné touto metodou detekovat i kapaliny, roztavené kovy, biologické tekutiny.

### **Využití ve forenzní analýze:**

- analýza skel.
- identifikace materiálů na základě prvkového složení.
- analýza otisků prstů.
- analýza explozivních a nebezpečných materiálů.
- analýza povýbuchových reziduí.

### **Využití v archeologii:**

- analýza šperků a kovových úlomků.
- analýza keramiky
- analýza sedimentů [7]

LIBS prokázala, že je rychlou a spolehlivou metodou pro detekci bakteriálních patogenů. Tato metoda byla použita pro identifikaci bakterií *E. coli* a některých kmenů *Staphylococcus aureus*. Pro tato měření byl použit Andor CCD detektor [8].

Metoda LIBS byla použita i ve výzkumu diagnostiky rakoviny. LIBS dokáže rozlišovat mezi zdravými a nádorovými buňkami ve vzorcích. Zjistili, že poměr vápník-draslík a sodík-draslík byly výrazně vyšší u nádorových buněk než u zdravých [9].

## 2 BAVLNA

Bavlna je nejpoužívanější surovinou v textilním průmyslu. Získává se z rostliny bavlníku (*Gossypium*), jehož plodem bavlníku je tobolek, která v době zralosti puká. Tato tobolek dosahuje velikosti vlašského ořechu a obsahuje 6 až 30 semen. Po dozrání praskne a uvolní chomáčky bavlny, které se sbírají ručně nebo kombajnem.

Jakmile bavlník rozkvetne, začínají se některé buňky vznikajícího semena prodlužovat a vystupovat nad povrch tobolek. Z těchto buněk vzniká vlákno bavlny. Na jednom bavlníkovém semenu vzniká tímto způsobem několik tisíc vláken. Vznik vlákna se dělí na dvě fáze. V první fázi vlákno rychle roste do délky, v druhé pak dozrává. Během dozrávání dochází k zesilování buněčných stěn tím, že se na jejich vnitřní straně ukládají vrstvy celulosy. Tím dochází ke zmenšování vnitřní dutiny tzv. lumenu a ke zvyšování pevnosti [10].



Obr. 8 Rostlina bavlníku [11]

### 2.1 Historie bavlny

Bavlna patří k nejrozšířenější a nejstarší textilní surovině. Pěstovala se již 5000 let před n. l. v Indii, odtud se rozšířila do Egypta, Číny, posléze i do jiných zemí. Bavlna byla známa již Řekům jako „vlněný strom“ a byla popsána ve starověkých knihách. Do Evropy se dostala až ve středověku, když ji sebou Maurové dovezli z Arábie. Po šestnáctém století dovoz bavlny z Indie do Evropy vzrůstal. Bavlna se stávala jednou z hlavních obchodních komodit. Díky dovozu bavlny si evropští obchodníci

z Východoindické společnosti nashromáždili velké bohatství. Ve druhé polovině 20. století došlo ke snížení používání bavlněných vláken díky vývoji a rozšíření chemických vláken v oděvním průmyslu. V současné době jsou bavlněná vlákna nahrazována chemickými vlákny, popřípadě dochází ke směsování přírodních a chemických vláken [12].

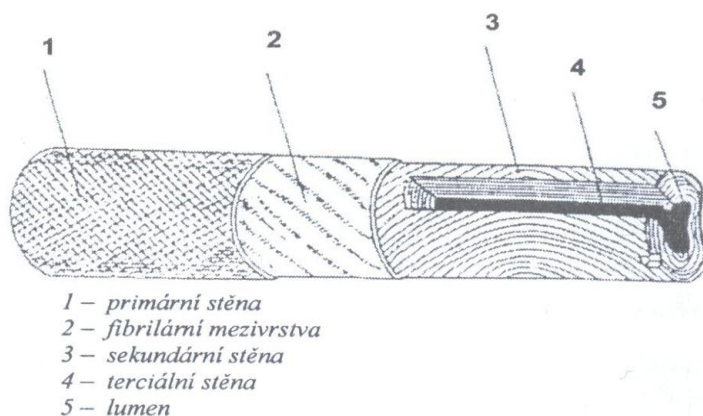
## 2.2 Struktura bavlny

Vlákno bavlny je nepravidelně zakroucená a zploštělá buňka ukončená hrotem. Zralá bavlněná vlákna mají průřez ledvinkovitého tvaru. Vlákno je tvořeno několika vrstvami.

**Primární stěna (kutikula)** – tvoří ochrannou vrstvu bavlněného vlákna, je pevná a tenká. Kutikula se skládá především z lecitinu, vosků, bílkovin a pektinu. Její tloušťka je asi 1 mikrometr.

**Sekundární stěna** – jedná se o soustavu prstenců lamel. Tvoří asi 95 % celého vlákna a má tloušťku přibližně 4 mikrometry.

**Terciální stěna** – je tenká asi 0,1 mikrometru a tvoří rozhraní mezi lumenem a sekundární stěnou.



Obr. 9 Průřez bavlnou [13].

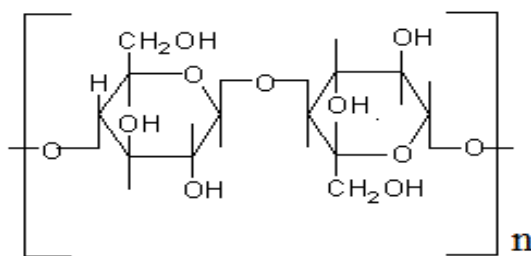
Chemické složení je závislé na druhu bavlny, zralosti a místě vypěstování.

Bavlna obsahuje především:

Celulóza.....	87 – 91 %
Voda.....	6,5 – 8 %
Bílkoviny.....	0,5 – 2,8 %
Pektiny.....	0,4 - 1,2 %
Vosk a tuk.....	0,4 – 0,6 %

## 2.3 Celulóza

Celulóza je nejrozšířenější biologický materiál na Zemi a je základní stavební jednotkou dřevin a rostlin. Celulóza je přírodní polymer, který je základním stavebním prvkem bavlny. Základní stavební jednotkou tohoto polysacharidu je  $\beta$ -glukopyranóza spojená glykosidickými vazbami. Navázáním 3 - 15 tisíc základních jednotek vzniká makromolekula celulózy. U celulózy dřevin je toto číslo nižší. Viskóza jako syntetický derivát celulózy má toto číslo v rozmezí 100 - 600 jednotek [12].

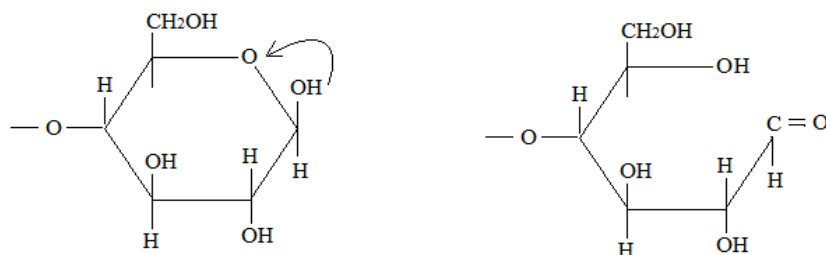


Obr. 10 Základní strukturní vzorec celulózy – celobióza.

### 2.3.1 Poškození celulózy

Celulózová vlákna jak přírodní tak i chemická jsou snadno poškoditelná působením kyselin, oxidačními prostředky a roztoky alkálií. Pro předúpravu bavlny mají největší význam reakce při kterých dochází ke krácení makromolekuly celulózy a tím dochází ke snížení pevnosti vlákna. Mezi tyto reakce patří hydrolytické a oxidační štěpení a působení alkálií.

**Hydrolýza celulózy:** K hydrolytickému štěpení dochází působením minerálních kyselin. Dochází k přerušení glykosidických vazeb mezi jednotlivými jednotkami celulózy. To vede ke snížení polymeračního stupně a tím ke snížení pevnosti. Tam, kde se uhlík uvolní z glykosidické vazby, se objeví aldehydická skupina ( $-CHO$ ). Touto reakcí vznikají produkty, někdy nazývané hydrocelulóza. Na reakcích této aldehydické skupiny jsou založeny jednoduché důkazy poškození celulózy.

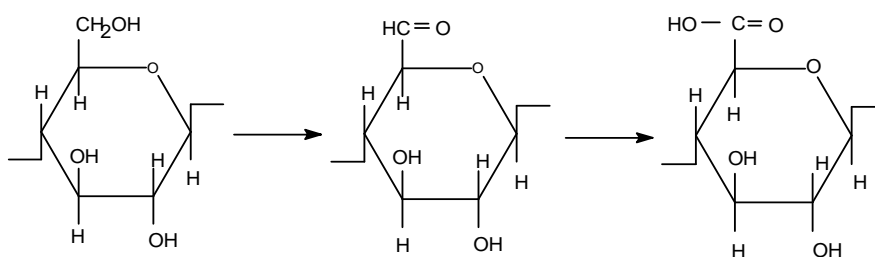
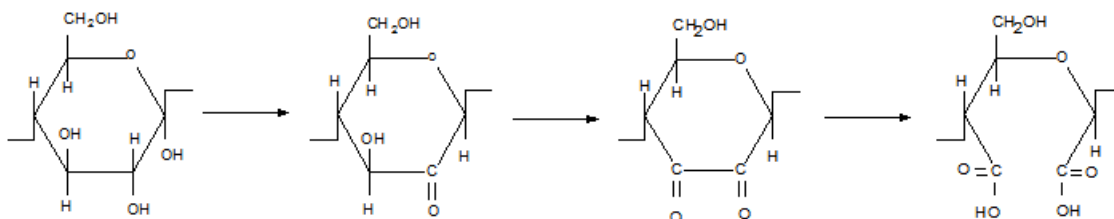


Obr. 11 Hydrolytické poškození celulózy [13].

**Oxidace celulózy:** Při působení oxidačních činidel se nejprve oxidují reaktivnější primární alkoholické skupiny ( $-\text{OH}$ ) celulózy, tím vzniká aldehydická skupina ( $-\text{CHO}$ ), další oxidací dochází ke vzniku karboxylové skupiny ( $-\text{COOH}$ ) čímž vzniká oxycelulóza. Vznikem oxycelulózy dojde opět ke zkracování řetězce a ke snižování pevnosti vlákna. S pokračující oxidací se oxidují i méně reaktivní alkoholické skupiny a vznikají ketonické skupiny a dochází ke štěpení cyklu. Existují dva typy oxycelulózy.

**Kyselý typ:** Celulóza po tomto poškození obsahuje převážně karboxylové skupiny. Tento typ poškození vzniká při oxidaci v alkalickém prostředí.

**Redukující typ:** Tento typ vzniká v kyselém prostředí a oxycelulóza obsahuje především aldehydické skupiny. Ty pak snadno přechází na karboxylové skupiny, při další oxidaci [13].

Obr. 12 Oxidační poškození celulózy na primární  $-\text{OH}$  skupině [13].Obr. 13 Oxidační poškození celulózy na sekundárních  $-\text{OH}$  skupinách [13].



**Působení alkálií:** působením alkálií se celulóza fyzikálně a mechanicky mění - vlákno bobtná. Bobtnání probíhá v amorfních oblastech a s vyšší koncentrací alkálie začne vlákno bobtnat i v krystalických částech. Mění se tvar vláken a jejich mechanické vlastnosti. Vlákná se v alkáliích částečně rozpouštějí. Rozpustnost závisí na koncentraci zásady, teplotě a polymeračním stupni. Při vyšších koncentracích začíná vznikat alkalixelulóza.

## 2.4 Vlastnosti bavlny

Dobře saje vlhkost, je pružná a pevná, dobře snáší vysoké teploty a alkalické prostředí. Barva vláken je bílá až nažloutlá. Délka se pohybuje v rozmezí 10 až 60 mm. Zákruty na vláknech bývají v rozmezí od 3 do 7 na 1 mm a mají velký význam při dalším zpracování, neboť zvyšují tření mezi vlákny. Pevnost bavlny se pohybuje v rozmezí 275 - 373 mN/tex. Vlivem slunečního světla ztrácí na pevnosti a žloutne. Účinkem minerálních kyselin hydrolyzuje rychlostí závislou na koncentraci kyselin. Téměř ve všech organických kyselinách je nerozpustná. V hydroxidech bavlna bobtná, lumen se zužuje, ledvinkovitý průřez se mění na kruhovitý a zvyšuje se lesk. Teplota vzplanutí je 400°C. Bavlna hoří rychle, jasným plamenem a zapáchá po spáleném papíru [14].

### 3 NEHOŘLAVÁ ÚPRAVA BAVLNY

Hořlavost textilií je velmi důležitou vlastností textilních materiálů. Vysoká hořlavost je nejen nebezpečná pro uživatele, ale umožňuje i rozšíření požáru. Při hoření dochází k tvorbě plynů a kouře, které jsou nebezpečné. Vznikají nebezpečné produkty, především však oxid uhelnatý. Právě z těchto důvodů se některé výrobky zušlechťují tzv. nehořlavou úpravou. Tato úprava se uplatňuje u textilií, z kterých se zhotovují pracovní oděvy pro riziková pracoviště (hasiči) a bytové textilie.

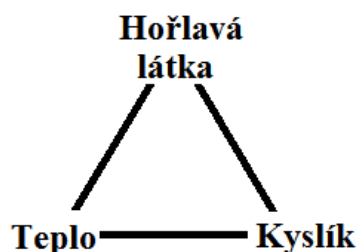
#### 3.1 Teorie hoření

Při hoření působí fyzikálně – chemické oxidační reakce, při kterých hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním prostředkem (kyslíkem) za vzniku tepla a světla. Jedná se o exotermickou reakci. K tomu aby došlo k hoření je zapotřebí tří základních složek:

**A) Hořlavá látka**

**B) Kyslík** – je v případě hoření používán jako oxidační prostředek

**C) Teplo** – jedná se o zdroj zapálení s dostatečným množstvím energie a vysokou teplotou, tak aby došlo k zapálení hořlavé látky (viz obr. 14).



*Obr. 14 Trojúhelník hoření*

Podle hořlavosti materiálu rozdělujeme textilie do několika skupin:

**A) Ohnivzdorné** – azbestová, skleněná a uhlíková vlákna.

**B) Nehořlavé** – při oddálení od plamene ihned uhasínají, v plameni se většinou pouze taví, nehořlavé polymery a PVC vlákna.

**C) Hořlavé** – při oddálení od plamene snadno zhasíjí nebo pozvolna dohořívají – vlna, přírodní hedvábí, PES a PA vlákna.

**D) Nebezpečně hořlavé** – hoří rychle, všechna celulózová a PAN vlákna [15].

Důležité je odlišovat hoření od žhnutí. Při hoření dochází k oxidaci nízkomolekulárních produktů pyrolýzy. Zatímco u žhnutí dochází k oxidaci zuhelnatělého zbytku na oxid uhličitý. Tato oxidace probíhá již při 200°C. Žhnutí je bezplamenné hoření za vzniku tepla a světla.

Hoření se dá rozdělit do několika fází, které jsou přítomny v průběhu celého hoření, od působení tepla až po zhasnutí plamene [16].

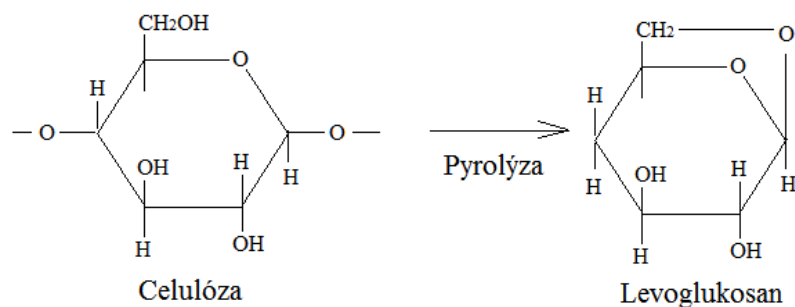
**1. Reakce do zapálení** – v této fázi dochází k uvolňování vazeb mezi molekulami. Tyto reakce probíhají mezi teplotou skelného přechodu a teplotou tání. Dochází ke štěpení jednotlivých vazeb makromolekulárních řetězců a vznikají tuhé, kapalné a plynné produkty. Tento proces se nazývá **pyrolýza**.

**2. Zapálení** – zapálení se dá rozdělit na zapálení vnějším zdrojem a samovznícení. V tomto procesu dochází k zapálení hořlavých plynů vzniklých pyrolýzou. Samovznícení je zapálení hořlavých produktů bez přítomnosti plamene z vnějšího zdroje, pouze vysokou teplotou materiálu.

**3. Hoření** – v tomto procesu dochází k reakcím s kyslíkem. Je to exotermní proces, při kterém vzniká světelná a tepelná energie. Pokud je energie, vzniklá spalováním plyných produktů pyrolýzy, vyšší než energie potřebná k pyrolýze, pak dochází k hoření i po oddálení plamene od zapalované látky. Tedy dochází k hoření materiálu.

### 3.2 Hoření celulózy

Hořením celulózy se nejdříve odpařuje voda, kterou obsahovala vlákna celulózy. Při teplotách v rozmezí 275 – 300°C dochází k rozkladu za vzniku zuhelnatělého zbytku, dehtu a plynů, které začnou hořet při dalším zvyšování teploty na 320 – 350°C. V tuto chvíli začne probíhat hoření samovolně a vnější zdroj již není potřeba. Při teplotách nad 400°C dochází již k samovznícení hořlavých produktů vzniklých při pyrolýze. Při pyrolýze neupravené celulózy nehořlavou úpravou dochází především ke vzniku 1,6-anhydro- $\beta$ -D-glukopyranozy, jejíž triviálním názvem je levoglukósan. Oxidace celulózy a vznik levoglukósanu je znázorněn na obr. 15 [17].



Obr. 15 Pyrolýza neupravené celulózy

Další pyrolýzou vznikají hořlavé produkty nebo uhlík. Za přítomnosti kyslíku tyto hořlavé produkty způsobují následnou pyrolýzu dalších molekul celulózy.

V případě, že na bavlně byla použita nehořlavá úprava, probíhá dehydratace a odštěpuje se víc vody. Zároveň se zvýší podíl zuhelnatělého zbytku.

### 3.3 Nehořlavá úprava

Nehořlavé úpravy bavlny se snaží snížit tepelný rozklad celulózy, tak aby docházelo ke vzniku co nejmenšího množství hořlavých produktů nebo aby vzniklé produkty hořely méně. K nehořlavým úpravám textilií se používají tzv. retardéry hoření. Retardéry hoření se používají při povrchové úpravě textilie. Aby došlo k hoření celulózy musí být splněno několik podmínek. Pyrolýzou se musí uvolňovat hořlavé plyny. V místě hoření musí být dostatečně vysoká koncentrace hořlavých plynů. Během hoření je přítomen kyslík, a hořením se musí uvolňovat dostatečné množství energie na udržení hoření. Pokud není splněna jen jedna z těchto podmínek nedojde k hoření, nebo je hoření výrazně omezeno. Na základě těchto podmínek vzniklo několik tzv. teorií retardace hoření.

**1. Teorie vrstvy** – vznikem filmu na povrchu vlákna se zabrání přístupu vzduchu do místa hoření.

**2. Teorie ochlazování** – dochází ke snížení tepelné energie uvolňováním a odpařováním vody z retardérů hoření.

**3. Plynová teorie** – dochází ke vzniku nehořlavých plynů, čímž je snížen přístup vzduchu a koncentraci hořlavých plynů.

**4. Teorie chemická** – dochází ke změně v průběhu pyrolýzy.

Retardéry hoření narušují celý systém hoření několika způsoby:

- Snížením tepla
- Zvýšením teploty pyrolýzy tkaniny
- Snížením tvorby hořlavých plynů
- Omezením přístupu kyslíku
- Zvýšením teploty samovznícení

Některé retardéry hoření obsahují vodu, která se během hoření uvolňuje a může omezit hoření. U některých vláken, jako jsou např. Kevlar a Nomex, se zvyšuje teplota pyrolýzy čímž se vlákno stává odolnějším. U celulóзовých vláken se používají retardéry hoření, které snižují teplotu pyrolýzy. Tím zabrání vzniku hořlavého levoglukosanu. Namísto něj vznikají uhlíkaté zbytky, které jsou nehořlavé [17].

### 3.4 Technologie nehořlavých úprav

V praxi se dá, nehořlavých úprav, v podstatě docílit dvěma způsoby. Buď použitím vláken se sníženou hořlavostí (Kevlar, Nomex), nebo speciálními zušlechťovacími povrchovými úpravami textilie. Povrchové zušlechťovací úpravy se dají dělit na:

- **Netrvalá** (dočasná) – praním se povrchová úprava textilie úplně odstraní.
- **Polotrvalá** – dochází ke ztrátě pevnosti a praním se snižuje účinek nehořlavé úpravy.
- **Stálá** – dělí se na fyzikální (fixace chemikálií na povrch textilie pomocí pojidel) a chemickou (chemické látky se vážou na textilií chemickou vazbou).

V současné době, se z ekonomických důvodů, nejvíce používají nehořlavé úpravy dočasné a polotrvalé.

**A) Ignis2** – jedná se o velmi dobrou netrvalou nehořlavou úpravu, bez dožehu. Textilie takto upravená nesmí přijít do styku s vodou. Aplikuje se hydrogenfosforečnan diamonný a močovina na fouldardu a poté se suší při teplotě 100°C.

**B) Mofos** – polotrvalá nehořlavá úprava s výborným nehořlavým efektem, bez dožehu. Při této úpravě dochází ke ztrátě pevnosti o 30 - 40%.

**C) KJ** – patří do skupiny trvalých úprav s dobrým nehořlavým efektem s nízkým dožehem, je stálá v praní ale ne v chemickém čištění.

**D) Pyrofix** – jedná se také o trvalou nehořlavou úpravu s nízkým dožehem. Nedochází ke ztrátě pevnosti. Snižuje omak a prodyšnost textilie a často i ztrátu barevného odstínu.

**E) Proban** – jedná se o další trvalou nehořlavou úpravu, která se samovolně zhasíná, bez žhnutí. Není zdraví škodlivá [17].

### 3.5 Hodnocení hořlavosti

Při zkoušení hořlavosti textilií existují různé podmínky pro zapálení a hoření, v závislosti na použití zkoušených textilií a druhu přístrojů popř. postupů. Testy na zkoušení hořlavosti se tímto způsobem dají rozdělit do několika skupin.

#### A) Podle uložení a tvaru vzorku

- a. **Vodorovné** – tato metoda umožňuje nejpomalejší šíření plamene. Zapaluje se definovaným plamenem po dobu 30s a měří se doba hoření, dožeh a velikost zuhelnatělé plochy.
- b. **Svislé** – stejně jako u vodorovného, jen je vzorek uložen horizontálně.
- c. **Šikmé** – vzorek se zapaluje pod úhlem 45° nebo 60°.
- d. **Obloukové** – vzorek je připevněn na půlobloukový držák, kde se na jednom konci zapálí poté se na stupnici odečítá úhel prohoření a doba hoření.

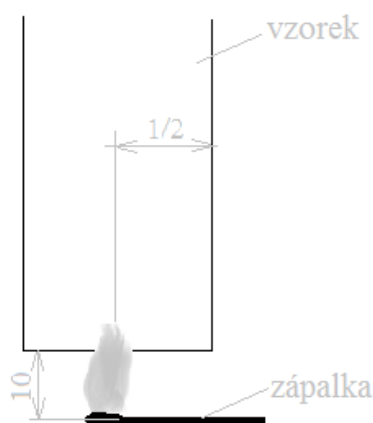
#### B) Podle místa zapálení

- a. **Zapálení na hraně**
- b. **Zapálení plošné**

#### C) Podle použitého způsobu zapálení

- a. **Tabletový test** – při tomto testu se na vodorovně uloženou textilii položí methanaminová tableta, která se umístí do středu testovaného materiálu. Tableta se zapálí, nechá se vyhořet a měří se průměr vyhořelé plochy.
- b. **Maticový test** – dle normy se použije zahřátá nerezová matice M16, která se přiloží na povrch zkoušeného materiálu. Měří se doba od přiložení matice do zhasnutí plamene. Dále doba žhnutí nebo doutnání a poloměr ohořelého kruhu.
- c. **Cigaretový test** – tento test se provádí k hodnocení bytových textilií. Zdrojem zapálení je běžně dostupná cigareta, která je označena 5mm a 55mm od strany, kde je zapálena. Hodnotí se čas prohoření textilie. Dále se sleduje, zda nedochází k doutnání.

**d. Zápalkový test** – vzorek je připevněn ve stojanu do svislé polohy. Zapaluje se sirkou, která je umístěna 10 mm pod dolním okrajem testovaného vzorku. Pokud vzorek hoří, zápalka se oddálí. Hodnotí se délka zuhelnatění. Na obrázku je vidět uložení vzorku do svislé polohy a provedení hodnocení nehořlavé úpravy zápalkovou metodou. [18].



*Obr. 16 Testování nehořlavé úpravy*

**e. Limitní kyslíkové číslo** – při této metody se počítá se změnou koncentrace kyslíku ve směsi kyslík-dusík. Tato směs proudí stejnou rychlostí kolem hořícího vzorku ve skleněném válci. Vzorek se zapálí se shora a hledá se minimální koncentrace kyslíku ve směsi kyslík-dusík, aby vzorek ještě hořel. Na obr. 16 je uvedeno několik vláken s limitním kyslíkovým číslem. Čím vyšší je tato hodnota, tím větší je odolnost materiálu proti vznícení a hoření

Druh vlákna	LKČ
Vlna	25 %
Bavlna	19 %
Viskóza	20 %
PES	21 %
PAD 6	20 %
Nomex	30 %
Kevlar	29 %

*Obr. 17 LKČ některých vybraných textilií*

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1 Použitý materiál – bavlna

Popis tkaniny:

- plošná hmotnost  $190 \text{ g/m}^2$ .
- dostava osnovy:  $19 \text{ cm}^{-1}$
- dostava útku:  $38 \text{ cm}^{-1}$
- vazba: plátňová
- barva: bílá

### 4.2 Nehořlavá úprava

#### 4.2.1 Použité chemikálie

V úvodních pokusech přípravy vzorku byly použity nehořlavé úpravy TEXAFLAM OSM a TEXAFLAM SB. TEXAFLAM OSM je používán pro stálou nehořlavou úpravu celulóзовých vláken a TEXAFLAM SB pro nestálou úpravu jak celulóзовých tak i směsí celulóзовých a syntetických vláken. Tyto dvě metody byly vyřazeny poté co nebylo možné zjistit přesné složení těchto přípravků z důvodu obchodního tajemství.

Byla tedy zvolena metoda Ignis2. Na tuto nehořlavou úpravu se používá  $(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$  s močovinou. Používá se jako nestálá nehořlavá úprava. Praním se tato úprava ztrácí. Je to velmi dobrá netrvalá úprava, která nemá dožeh.

U této úpravy se hořením uvolňuje amoniak, který uhasíná oheň, čímž snižuje koncentraci hořlavých plynů.

#### 4.2.2 Příprava vzorků

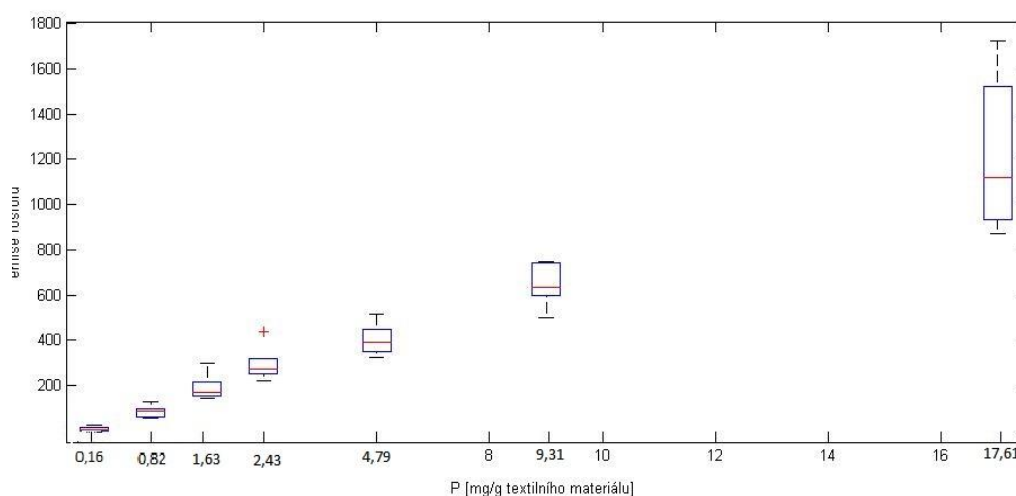
Byl připraven roztok o koncentraci  $120 \text{ g/l}$   $(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$ . Na aplikaci roztoku byl použit klocovací způsob nanášení. V praxi to znamená, že tkanina je smočena v roztoku, poté projde přes fulár, kde dochází k odmačku nadbytečného roztoku a fixaci. Následuje vysoušení. Při aplikaci roztoku se všechny vzorky smáčely stejnou dobu, která byla 5 minut. Poté prošly laboratorním fulárem a následným sušením v sušárně při  $100^\circ\text{C}$  do konstantní hmotnosti. Rychlost odmačku na fuláru Mathis byla  $1\text{m/min}$  při tlaku 4 bary (4 atm). Vzorky byly před a po smáčení zváženy a z toho byl vypočítán mokrý přivažek, dle rovnice na obr. 18. Průměrná hodnota mokrého přivažku byla  $70 \% \pm 1\%$ .



$$\text{mokrý přivažek} = \left( \frac{\text{hmotnost mokrého vzorku [g]} - \text{hmotnost suchého vzorku [g]}}{\text{hmotnost suchého vzorku [g]}} \right) \times 100 [\%]$$

Obr. 18 Vzorec pro výpočet mokrého přivažku

Bylo připraveno celkem 5 vzorků o rozměrech 50 x 70 mm. Současně s přípravou vzorku byly připraveny i vzorky určené pro kalibraci, na které byl použit stejný postup jako při přípravě vzorků pro měření. Každý z těchto vzorků byl smočen v jiné koncentraci roztoku určeného pro nehořlavou úpravu. Koncentrace roztoků pro jednotlivé kalibrační vzorky byly 120 g/l, 60 g/l, 30 g/l, 15 g/l, 10 g/l, 5 g/l a 1 g/l  $(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$ . Na **grafu 1** je zobrazen krabicový graf, na kterém jsou vyneseny výsledky získané metodou LIBS. Je možné vypořádkovat přímou lineární závislost výšky emise fosforu na koncentraci roztoku. Jednotlivé koncentrace byly přepočítány na mg fosforu na gram textilního materiálu.



Graf 1 Krabicový graf naměřených emisí fosforu

### 4.3 Testování hořlavosti

K testování hořlavosti byl použit přístroj Atlas HMT Horizontal flame chamber. Tento přístroj umožňuje testování nehořlavé úpravy, kde vzorek je uložen do horizontální polohy. Do hořáku je přiváděn plyn, který je používán pro zapálení tkaniny. Výška plamene nastavena na 4 cm, vzdálenost hořáku od tkaniny byla 1,9 cm. Vzorky byly postupně exponovány plamenem po dobu 1s, 3s, 5s, 10s a 15s. Testování hořlavosti na tomto přístroji odpovídá normě ISO 3795.

Číslo vzorku	Čas expozice [s]
1	1
2	3
3	5
4	10
5	15

*Tabulka 1 Vzorky a čas expozice*



*Obr. 19 Atlas HMT horizontal flame chamber*



*Obr. 20 Vzorek č. 1 exponován 1s*



*Obr. 21 Vzorek č. 2 exponován 3s*



*Obr. 22 Vzorek č. 3 exponován 5s*



*Obr. 23 Vzorek č. 4 exponován 10s*

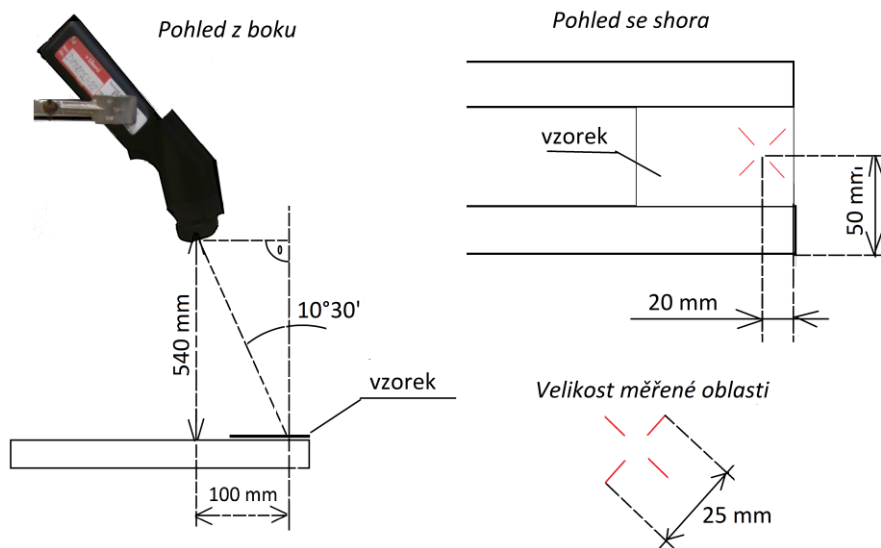


*Obr. 24 Vzorek č. 5 exponován 15s*

Současně byla v této komoře při spalování měřena teplota vzorku v závislosti na čase. K tomuto měření byl použit infračervený teploměr Optris LS LT. Tento teploměr byl připojen přímo na notebook se záznamem výsledků měření. Rozsah měření IR teploměru je v rozmezí  $-35^{\circ}\text{C}$  až  $900^{\circ}\text{C}$  ( $-30^{\circ}\text{F}$  až  $1650^{\circ}\text{F}$ ) s chybou  $\pm 0,5\%$ .



Obr. 25 Měření IR teploměrem Optris LS LT



Obr. 26 Geometrie měření vzorku

## 4.4 Použité metody měření

Testování nehořlavé úpravy bylo prováděno především metodou LIBS na přístroji LEA-S500. K této metodě byly přidány další metody, které byly použity jako komparační. Mezi tyto metody patří rentgen-fluorescenční spektrometrie a elektronová spektrometrie.

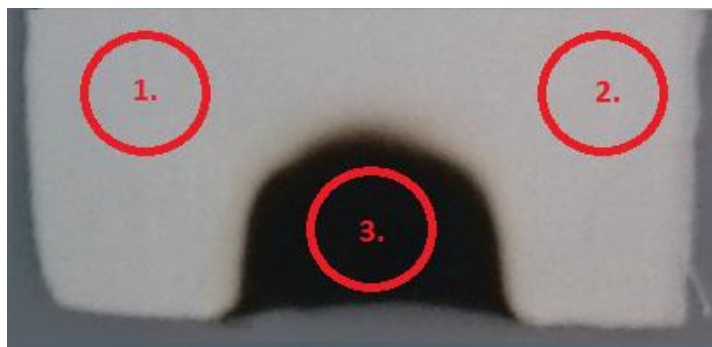
### 4.4.1 Rentgen-fluorescenční spektrometrie (XRF)

Rentgen-fluorescenční spektrometrie je analytická metoda využívající charakteristické rentgenové. Zkoumaný vzorek je ozařován zdrojem budícího záření, absorbovaná energie je využita k excitaci elektronů daného prvku do vyšších energetických hladin nebo jejich uvolnění z atomového obalu. Dochází k emisi. Na základě znalosti tohoto emitovaného záření může být identifikováno složení zkoumaného vzorku. Spektrum je poté vyhodnoceno. Měření byla prováděna přístrojem DELTA od Olympus Innov-X.



*Obr. 27 Rentgen-fluorescenční spektrometr DELTA od Olympus Innov-X*

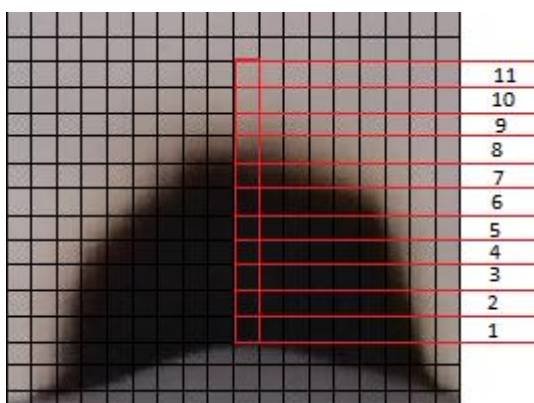
Tento přístroj je určen především pro stanovení kovů a slitin. Vzorky byly proměřeny v pravém horním rohu, v levém horním rohu a ve středu spálené oblasti. U přístroje bylo možné nastavení měření na kovy, nekovy a zeminu. Pro měření tímto přístrojem bylo vybráno nastavení programu na měření zeminy. Byly měřeny vzorky č. 1, 3 a 4.



*Obr. 28 Poloha měření XRF spektrometrem na vzorcích*

#### **4.4.2 Elektronová mikroskopie (EDS)**

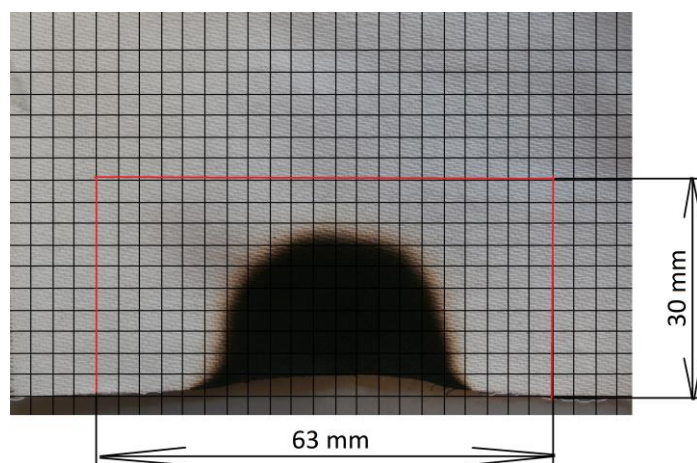
Jako další komparační metoda byla použita elektronová mikroskopie. Na tuto metodu byl použit vzorek, jehož expozice plamenem byla 10s. Ze vzorku byl odebrán proužek o šíři 3 mm ze středu exponovaná částí. Poté byl rozdělen na 11 tří milimetrových čtverců.



*Obr. 29 Místo měření vzorku na EDS*

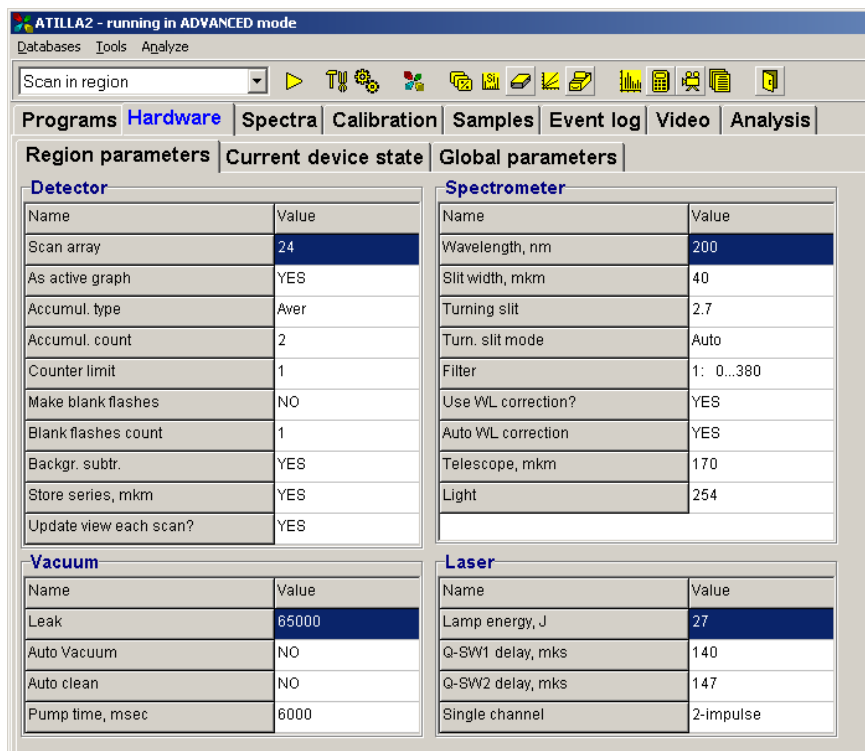
#### **4.4.3 LIBS**

Před vlastním měřením byly vzorky podlepeny a upraveny na velikost 70x50mm. Poté byly rozděleny na 16 tří milimetrových řádků. Tyto řádky byly rozděleny na 23 tří milimetrových sloupců. Vznikla tak mřížka, která obsahovala 368 čtverců o velikosti 3x3 mm. Měřená oblast byla během měření snížena na 10 řádků a 21 sloupců. Čímž se počet oblastí u vzorků snížil na 210 čtverců. Tato velikost byla dostačující pro měření spálené oblasti.



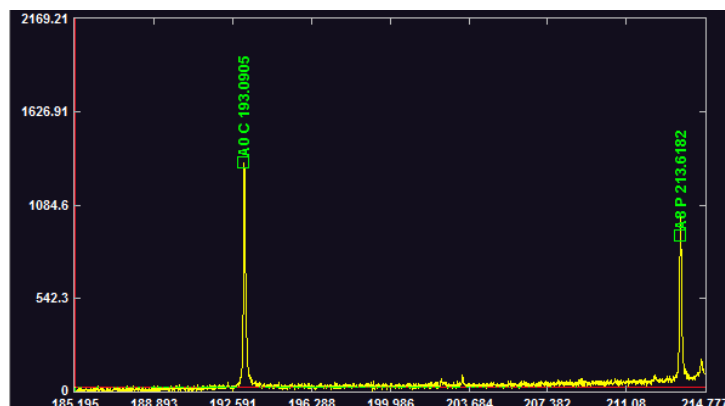
*Obr. 30 Velikost měřené oblasti*

Vzorky byly zkoušeny v různých regionech. Nejlépe vyhovujícím regionem, pro stanovení fosforu a uhlíku byla již předem naprogramovaná oblast 185-215nm. Vzorek byl oboustrannou lepicí páskou přilepen na ocelový držák, tak aby se zamezilo samovolnému posunu vzorku při měření. Vlastní měření probíhalo na laserovém prvkovém analyzátoru LEA-S500, jehož nastavení je zobrazeno na obrázku 31. Byl použit software ATILLA2.



*Obr. 31 Nastavení programu ATILLA2*

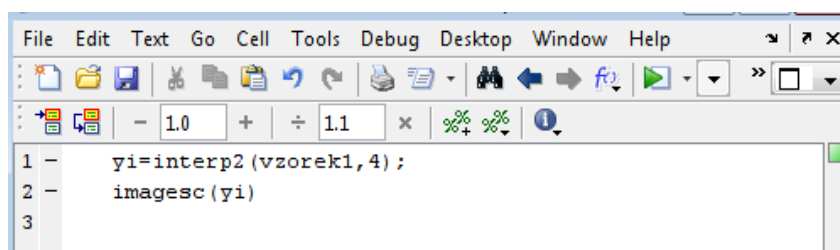
Výsledkem měření byly spektrografy, které v jedné oblasti obsahovaly jak emisní čáru pro uhlík tak i pro fosfor. Výsledný spektrograf s čarou uhlíku a fosforu je na obrázku 32. Na ose y je zobrazena intenzita uhlíku nebo fosforu, na ose x je zobrazena vlnová délka emitovaného záření. Vyhodnocení probíhalo zjištěním si intenzity záření emitovaného uhlíku (193,0905 nm) a intenzity záření emitovaného fosforu (213,6182 nm). Poté se od každé hodnoty odečetlo pozadí. Dále v práci jsou jako výsledky prezentovány hodnoty s již odečteným pozadím.



Obr. 32 Spektrograf s uhlíkem a fosforem

#### 4.4.4 Grafické zpracování dat

Grafické zpracování dat bylo prováděno na programu MATLAB. K samotnému zpracování byl použit příkaz „imagesc“ - tento příkaz vykreslí mapu měření (matici) – viz mapy v příloze 2. Dále byl použit příkaz „interp2“. Tento příkaz umožňuje interpolaci dat pro 2D grafy. Výsledkem je interpolovaná mapa. Příkazy jsou vypsány na obrázku 33.



Obr. 33 Použité příkazy pro zpracování dat v programu MATLAB



#### 4.4.5 Statistické zpracování dat

K změřeným datům byla přidána základní statistická analýza. Do přílohy 3 jsou vloženy i četnosti a histogramy jednotlivých vzorků.

**Vypočet střední hodnoty:** 
$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

**Chyba střední hodnoty:** 
$$SEM = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

**Medián (lichý):** 
$$\text{Med}(x) = x_{n/2+1/2}$$

**Směrodatná odchylka:**

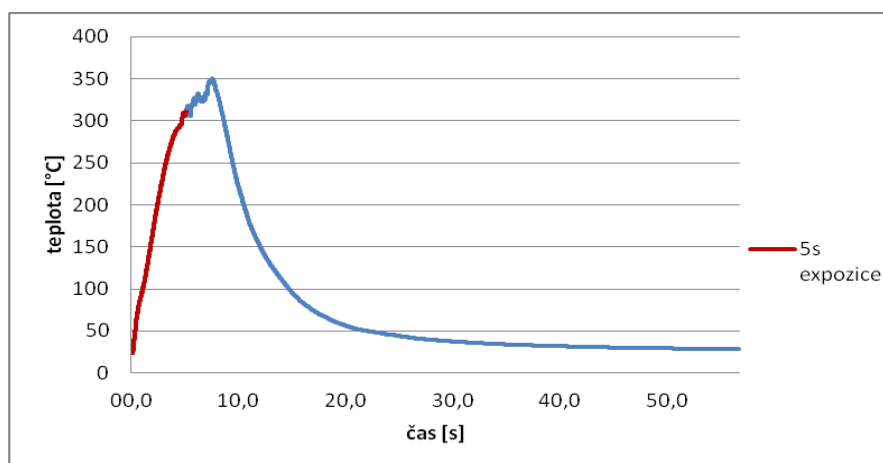
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

## 4.5 Výsledky a diskuze

### 4.5.1 Měření IR teploměrem

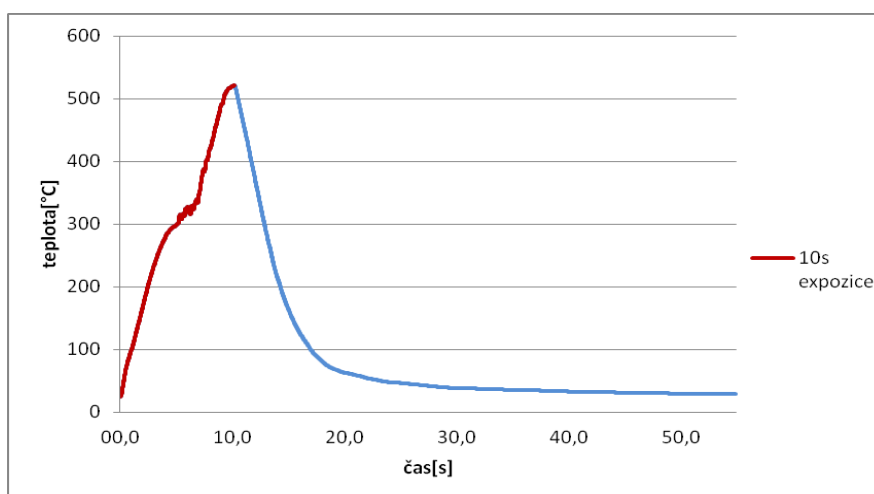
Na měření IR teploměrem byly vybrány vzorky spalované 5s, 10s a 15s. Výsledkem měření je teplotní průběh v závislosti na čase. Po ukončení expozice, byl plamen oddálen a dále se měřila teplota vzorku. Počáteční teplota byla u všech vzorků 23,8°C. Měření IR teploměrem bylo ukončeno po 60s.

#### Vzorek č. 3 - doba expozice plamenem 5s:



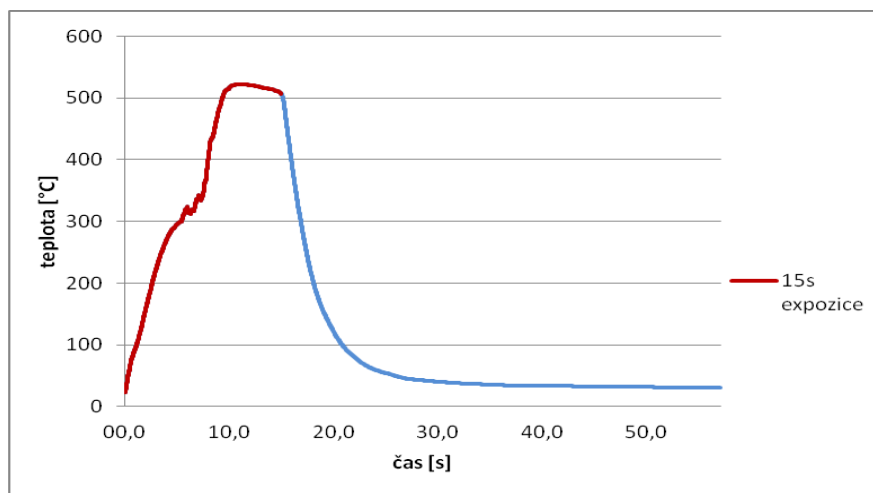
*Graf 2 5s expozice plamenem vzorku č. 3*

#### Vzorek č. 4 - doba expozice plamenem 10s:



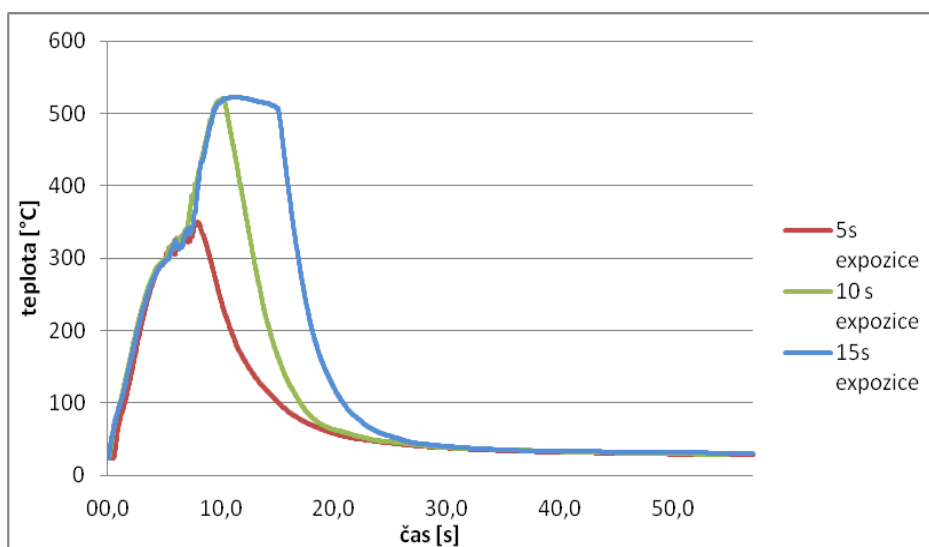
*Graf 3 10s expozice plamenem vzorku č. 3*

**Vzorek č. 5 - doba expozice plamenem 15s:**



*Graf 4 15s expozice plamenem vzorku č. 3*

Následující graf je spojením všech předchozích měření. Na grafu je vidět porovnání teplotních průběhů spalování jednotlivých vzorků.



*Graf 5 Porovnání teplotního průběhu expozice vzorků*

V tabulce č. 2 jsou vypsány maximální teploty, které byly dosaženy při spalování vzorků č.3, 4 a 5.

číslo vzorku	doba expozice [s]	maximální teplota [°C]
3	5	350,1
4	10	521,1
5	15	522,4

*Tabulka 2 Tabulka maximálních dosažených teplot*

#### 4.5.2 XRF spektrometrie

Výsledky XRF spektrometrie. V tabulce 3 jsou průměrné hodnoty z neexponované části vzorku pravého rohu a levého rohu. V tabulce 4 pak hodnoty naměřené ve středu exponované části. Výsledky jsou přepočteny na jednotky ppm.

Průměr měření neexponované části	
	fosfor [ppm]
vzorek 1 -expozice 1s	41 333
vzorek 3 -expozice 5s	38 840
vzorek 4 -expozice 10s	31 718

*Tabulka 3 Průměr měření neexponované části*

Měření středu	
	fosfor [ppm]
vzorek 1-expozice 1s	48 026
vzorek 3-expozice 5s	56 651
vzorek 4-expozice 10s	110 040

*Tabulka 4 Výsledky měření pravého kraje vzorků*

#### 4.5.3 Elektronová mikroskopie (EDS)

Fotografie vzorku jsou uvedeny v příloze 4. Spektra z měření byla vložena do přílohy 5. Na fotografiích lze vidět poškození bavlny vlivem expozice plamenem, její popraskání a změna množství krystalů na povrchu vlákna v závislosti na vzdálenosti od místa expozice. Zde je uvedena tabulka s výslednými hodnotami fosforu, uhlíku a kyslíku.

Vzorek č. 4-expozice plamenem 10s			
	Fosfor [hmotn. %]	Uhlík [hmotn. %]	Kyslík [hmotn. %]
měření 11	2,8	49,3	47,8
měření 10	1,9	52,8	45,3
měření 9	1,9	51,1	46,8
měření 8	2,6	51	46,3
měření 7	2,9	52,4	44,7
měření 6	1,3	57,4	41,3
měření 5	5,5	74,2	20,3
měření 4	3,6	75,8	20,6
měření 3	5	76,5	18,5
měření 2	5,7	74,6	19,6
měření 1	5,3	75,3	19

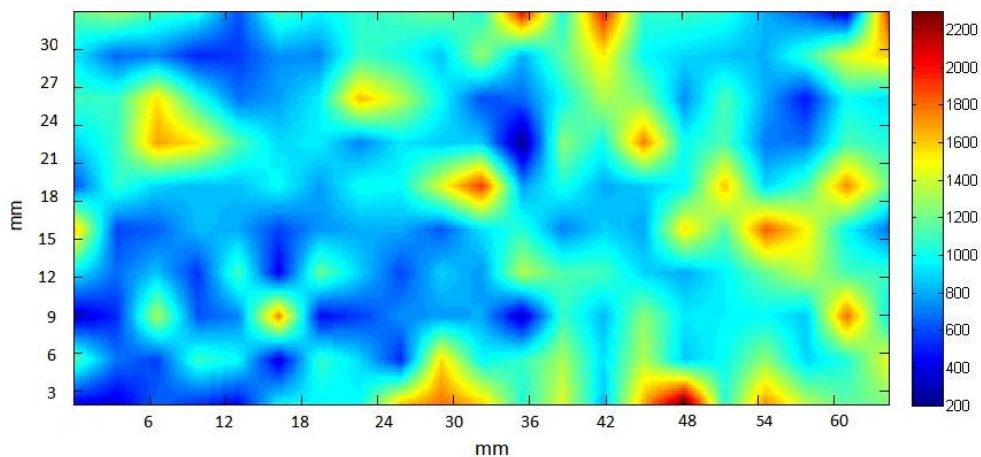
*Tabulka 5 Naměřené hodnoty na EDS*

#### 4.5.4 LIBS

Výsledkem měření na přístroji LEA-S500 je matice o velikosti 10 řádků a 21 sloupců. Matice byly pomocí programu MATLAB převedeny na mapy množství fosforu a uhlíku. Vyhodnocení probíhalo zjištěním si intenzity vlnové délky uhlíku (193,0905 nm) a intenzity vlnové délky fosforu (213,6182 nm). Poté se od každé hodnoty odečetly pozadí. Skutečné výsledky z měření jsou v příloze 1. Následující výsledky jsou po úpravě v programu MATLAB.

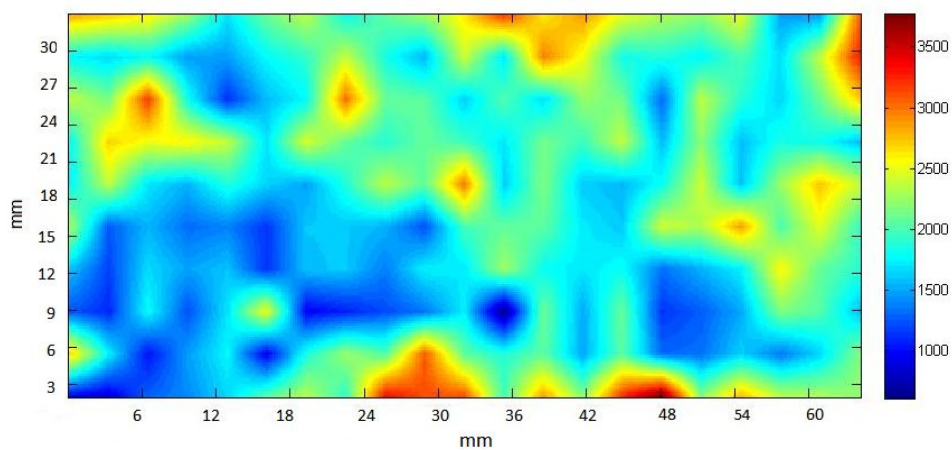
## Vzorek č.1 – doba expozice plamenem 1s:

### Množství fosforu



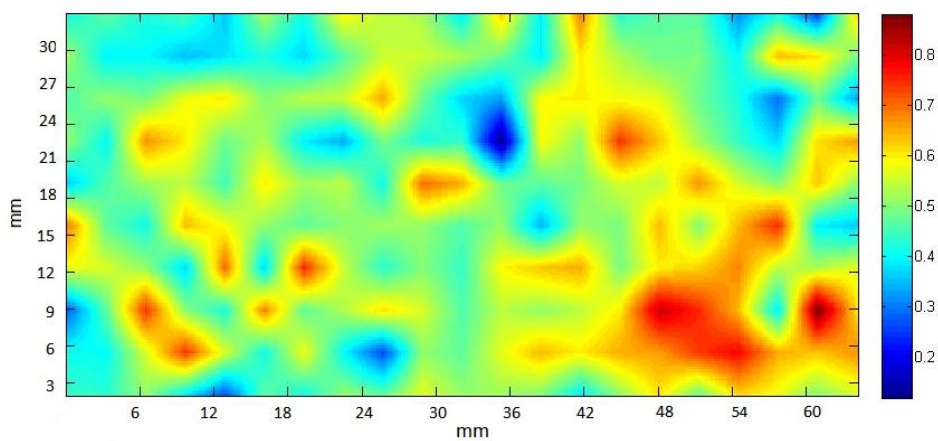
*Obr. 34 Fosfor na tkanině po expozici 1s*

### Množství uhlíku



*Obr. 35 Uhlík na tkanině po expozici 1s*

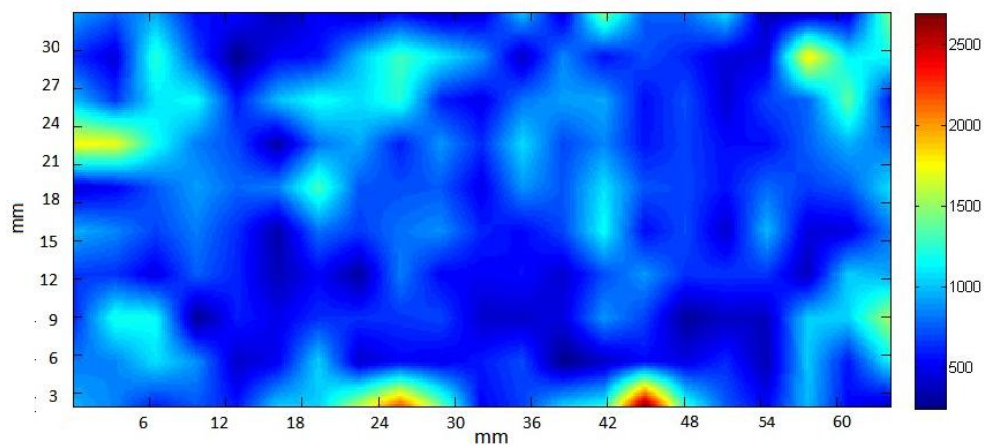
### Poměr fosfor/uhlík



*Obr. 36 Poměr P/C po expozici 1s*

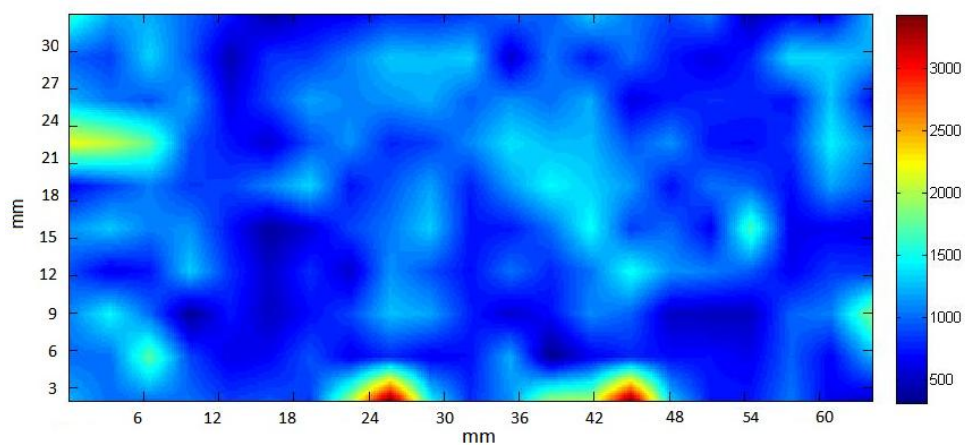
## Vzorek č.2 - doba expozice plamenem 3s:

### Množství fosforu



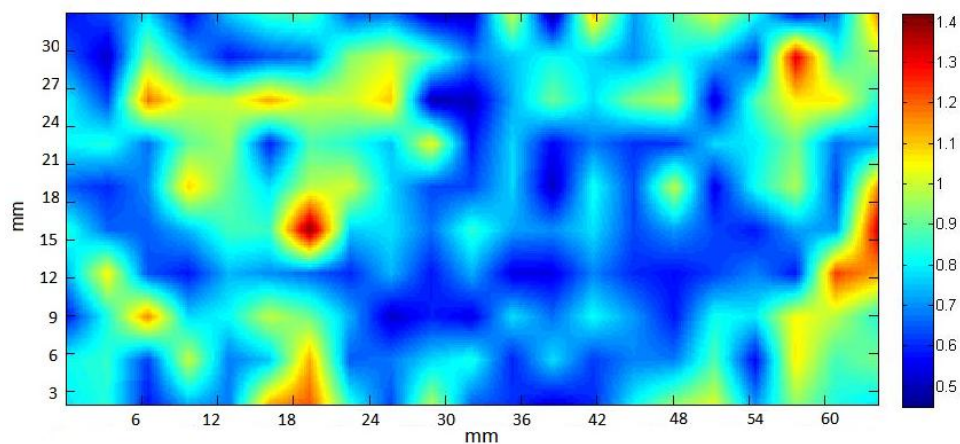
*Obr. 37 Fosfor na tkanině po expozici 3s*

### Množství uhlíku



*Obr. 38 Uhlík na tkanině po expozici 3s*

### Poměr fosfor/uhlík

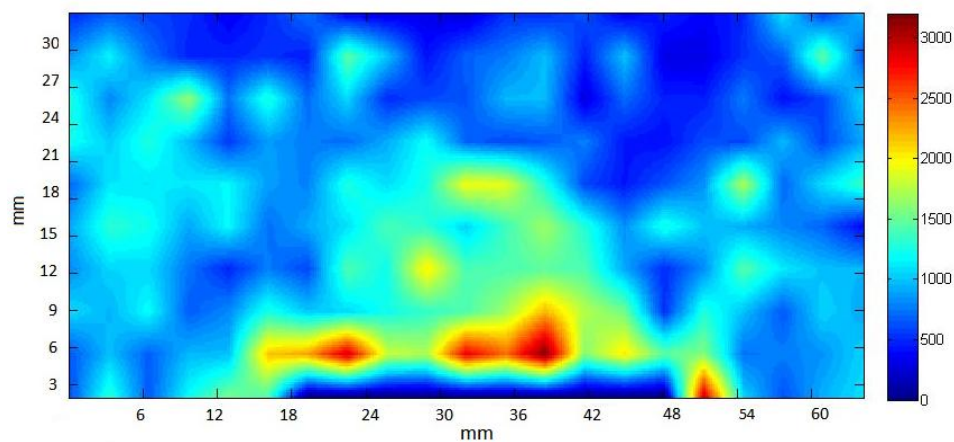


*Obr. 39 Poměr P/C po expozici 3s*



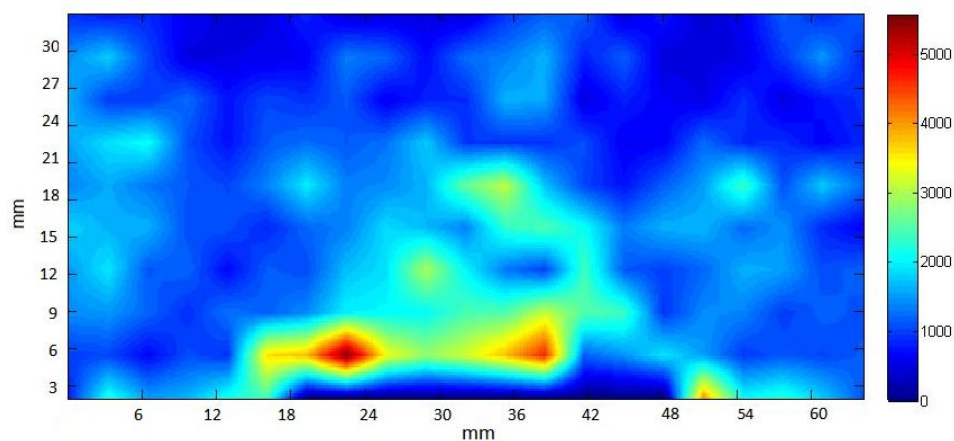
### Vzorek č.3 - doba expozice plamenem 5s:

#### Množství fosforu



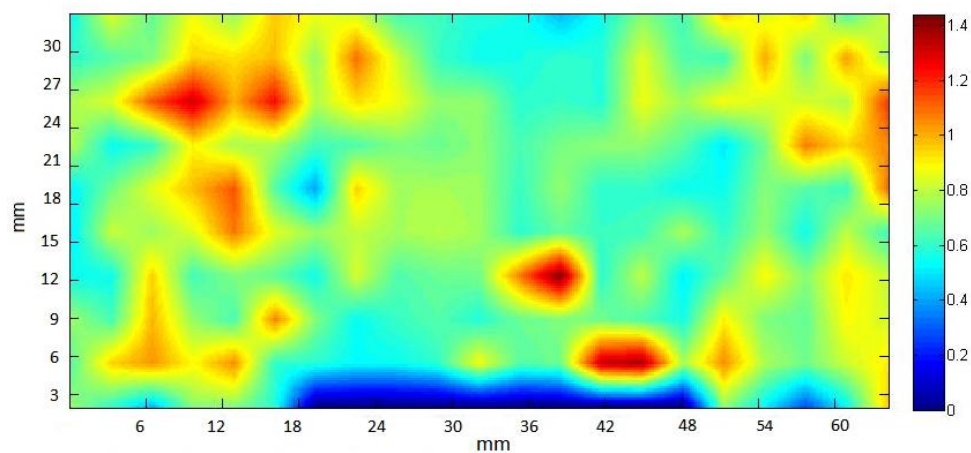
*Obr. 40 Fosfor na tkanině po expozici 5s*

#### Množství uhlíku



*Obr. 41 Uhlík na tkanině po expozici 5s*

#### Poměr fosfor/uhlík

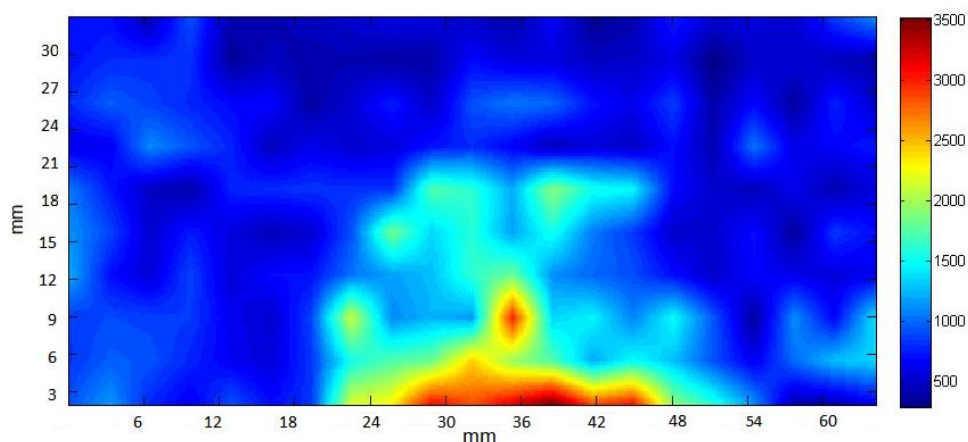


*Obr. 42 Poměr P/C po expozici 5s*



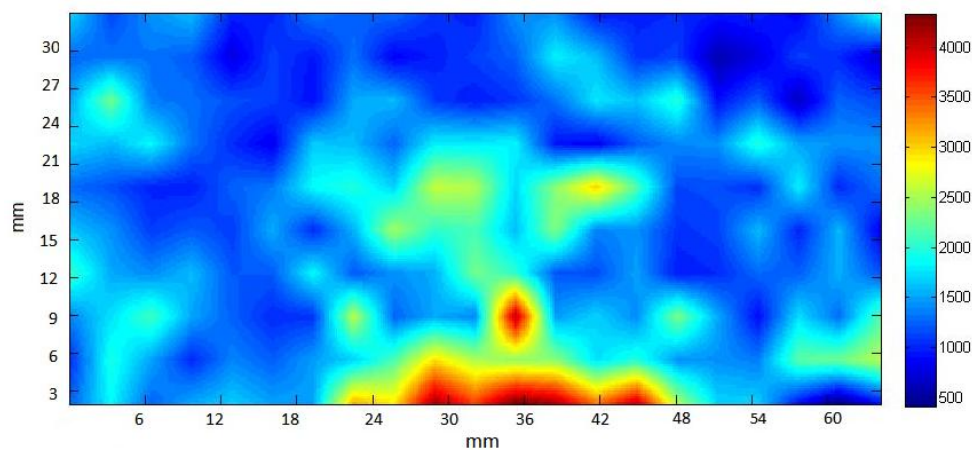
## Vzorek č.4 - doba expozice plamenem 10s:

### Množství fosforu



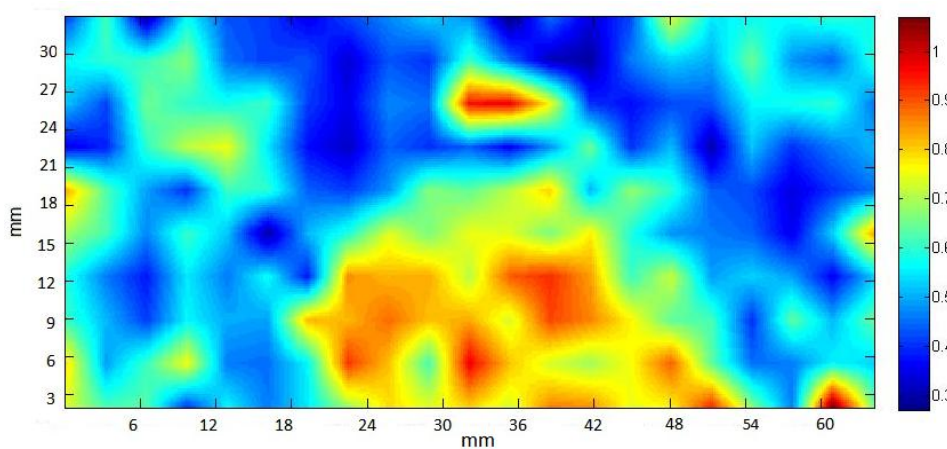
Obr. 43 Fosfor na tkanině po expozici 10s

### Množství uhlíku



Obr. 44 Uhlík na tkanině po expozici 10s

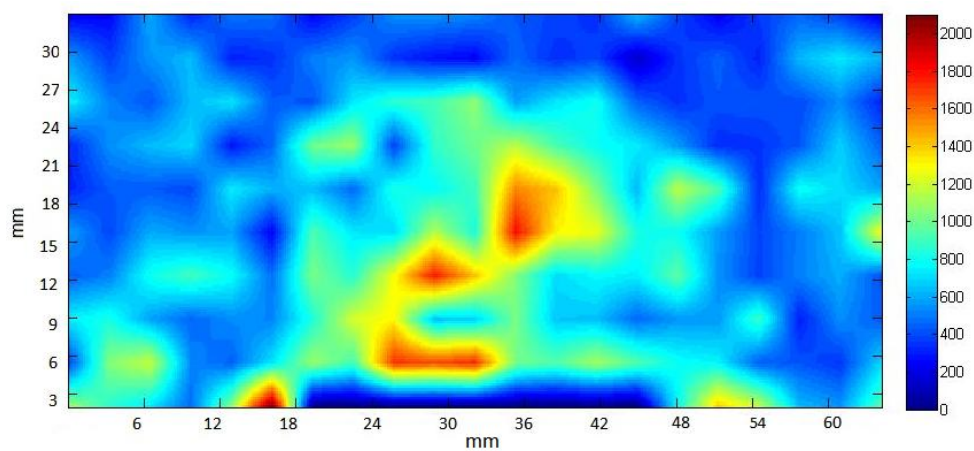
### Poměr fosfor/uhlík



Obr. 45 Poměr P/C po expozici 10s

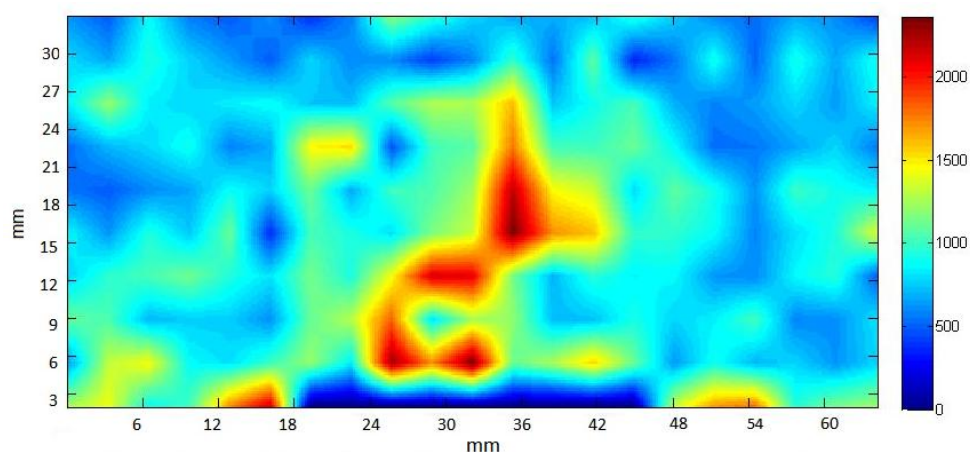
## Vzorek č.5 - doba expozice plamenem 15s:

### Množství fosforu



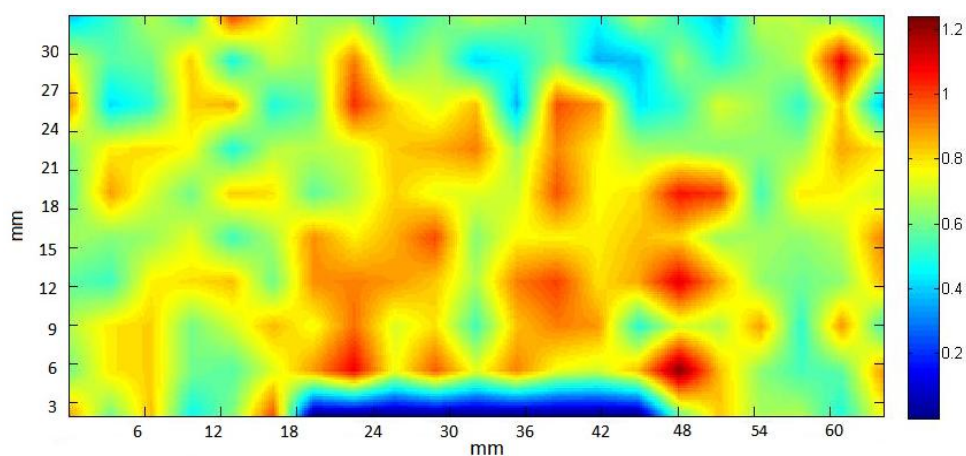
Obr. 46 Fosfor na tkanině po expozici 15s

### Množství uhlíku



Obr. 47 Uhlík na tkanině po expozici 15s

### Poměr fosfor/uhlík



Obr. 48 Poměr P/C po expozici 15s

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo stanovení změny koncentrace uhlíku a fosforu metodou LIBS při různých časech expozice plamenem. Pro toto stanovení byly využity vzorky bavlněné textilie s nehořlavou úpravou, které byly exponovány plamenem po dobu 1s, 3s, 5s, 10s a 15s. Měření hodnot uhlíku a fosforu bylo provedeno spektrometrií laserem buzeného plazmatu (LIBS).

V úvodní části experimentu byly vzorky bavlněné textilie upraveny roztokem hydrogen-fosforečnanu diamonném  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , poté byly tyto vzorky klocovány na fuláru a sušeny v sušárně. Vzorky byly exponovány plamenem danou dobu. Následně bylo provedeno mapování koncentrace prvků v ploše textilie, přičemž vzorky byly nalepeny na oboustrannou lepicí pásku a rozděleny na čtverce o rozměrech 3x3 mm.

Při měření vzorků č. 1 - 4 byly zjištěny vzrůstající hodnoty fosforu a uhlíku na části vzorku exponované plamenem. Naopak u vzorku č. 5 došlo k poklesu těchto hodnot. Docházelo nejen ke snižování koncentrace fosforu, ale i uhlíku. Pro kontrolu výsledků měření byly použity metody XRF spektrometrie a elektronová mikroskopie s EDS.

V případě působení tepla nad 10s dochází k razantnímu snižování pevnosti vláken. Vlákná jsou křehčí a náchylnější na jakoukoli mechanickou manipulaci. Laserový paprsek pronikne u teplotně poškozených vzorků hlouběji do vlákna, odebere větší množství vzorku a i vyhodnotí zvýšenou koncentraci fosforu a uhlíku. Pokud teplota překročí stanovenou dobu, v našem případě cca 10s a teplotu cca 520°C. dochází k rozkladu celulózy na  $\text{CO}_2$  a ostatní plyny hoření. Tím dochází i k uvolňování fosforu přítomného ve vlákně, který je navázán na uhlík a metoda LIBS vyhodnotí nižší množství fosforu než u méně exponovaných.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CREMERS, D. A., RADZIEMSKI, L. J.: *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*. John Wiley & Sons Ltd., 2006. ISBN 0-470-09299-8.
- [2] LAPŠANSKÁ, H.: *Laserové technologie v praxi* [online]  
[cit. 10.1. 2013]. Dostupné na internetu:  
<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser-prez.pdf>
- [3] LAO průmyslové systémy. *Základní princip laseru a jejich dělení* [online]  
[cit. 10.1. 2013]. Dostupné na internetu:  
<http://www.lao.cz/serial-princip-a-typy-laseru.htm>
- [4] PASQUINI, C., CORTEZ, J., SILVA, L. M. C., GONZAGA, F. B.: *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*. J. Braz. Chem. Soc. [online]. 2007, ISSN 0103-5053. Dostupné na internetu: <http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v18n3/01.pdf>
- [5] SOLAR TII. *A new instrument in analytical spectroscopy - Laser Elemental Analyzer (LEA)* [online] [cit. 1.2.2013]. Dostupné na internetu:  
[http://solartii.com/analytical\\_instruments/laser\\_analyzer/article\\_lea-s500.pdf](http://solartii.com/analytical_instruments/laser_analyzer/article_lea-s500.pdf).
- [6] Spektroskopie laserem buzeného plazmatu – LIBS [online] [cit. 1.3.2013].  
Dostupné na internetu:  
<http://www.chempoint.cz/spektroskopie-laserem-buzeneho-plazmatu>.
- [7] LIBS [online] [cit. 14.4.2013]. Dostupné na internetu: [http://www.rmi.cz/libs\[2\]](http://www.rmi.cz/libs[2])
- [8] *Andor CCD camera powers LIBS detection of bacterial pathogens* [online]  
[cit. 14.4. 2013]. Dostupné na internetu:  
<http://www.laserfocusworld.com/articles/2011/01/andor-libs-pathogens.html>
- [9] *LIBS shows promise for cancer diagnostics* [online] [cit. 1.3.2013]. Dostupné na internetu: <http://www.laserfocusworld.com/articles/oer/print/volume-11/issue-21/features/libs-shows-promise-for-cancer-diagnostics.html>
- [10] Šimek, K.: *Příprava bavlny (míchárna, čistírna a mykárna)*. Praha : SNTL, 1956. Typové číslo L 21-B1-3-I
- [11] KOZLOVSKÁ, H., BOHANESOVÁ B.: *Oděvní materiály*. 1., Praha: Informatorium, 1998. ISBN 80-85427-28-9.
- [12] TAUBER, A.: *Královna bavlna*. Praha : Nakladatelství politické literatury, 1966. ISBN 24-014-66

- [13] WIENER, J., PRŮŠOVÁ, M., KRYŠTŮFEK, J.: *Chemicko-textilní rozbor*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 55-045-08
- [14] POSPÍŠIL, Z., a kolektiv.: *Průručka textilního odborníka : 1. část*. Praha : SNTL, 1981. ISBN 04-825-81
- [15] POSPÍŠIL, Z., a kolektiv.: *Průručka textilního odborníka : 2. část*. Praha : SNTL, 1981. ISBN 04-825-81
- [16] BLAŽEJ, A., a kolektiv.: *Špeciálne chemické úpravy textílií*. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury, 1986. ISBN 63-261-86.
- [17] RŮŽIČKA, J., a kolektiv.: *Technologie předúprav, finálních a speciálních úprav textilních materiálů*. Pardubice: Vysoká škola chemicko-technologická, 1985. ISBN 55-718-84.
- [18] VÍK, M., VÍKOVÁ, M.: *Finální úpravy textílií* [online].  
[cit. 10.1. 2013]. Dostupné na internetu:  
<http://www.ft.tul.cz/depart/ktc/sylaby/ZUT/ZUT%2017.pdf>.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

LIBS	spektrometrie laserem buzeného plazmatu
LEA – S500	laserový prvkový analyzátor S500
LIPS	spektrometrie laserem indukovaného plazmatu
AES	atomová emisní spektrometrie
UV	ultrafialové záření
OES	optická emisní spektrometrie
Laser Nd:YAG	neodymem dopovaný yttrium aluminium granát
CCD	charge-coupled device
PVC	polyvinylchlorid
PES	polyester
PA	polyamid
PAN	polyakrylonitril
IR	infračervený
RF	rentgen-fluorescence
(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	hydrogenfosforečnan diamonný
nm	nanometr
ns	nanosekunda
μs	mikrosekunda
mm	milimetr
px	pixel
s	sekunda
mJ	milijoul
tzv	tak zvaný
β	beta
mN	milinewton
tex	jednotka jemnosti
atm	atmosféra
g	gram
mg	miligram
l	litr
HMV	horizontální plamenová komora
ČSN	Česká státní norma

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1	Základní schéma zařízení .....	9
Obrázek 2	Časový průběh emise plazmy.....	10
Obrázek 3	Základní schéma laseru.....	11
Obrázek 4	Schéma laserové ablace.....	12
Obrázek 5	Spektrometr LEA – S500.....	13
Obrázek 6	Detekční limity spektrometru u vybraných prvků .....	13
Obrázek 7	Schéma uspořádání LIBS s optickým vláknem.....	14
Obrázek 8	Rostlina bavlníku.....	17
Obrázek 9	Průřez bavlnou.....	18
Obrázek 10	Základní strukturní vzorec celulózy - celobióza.....	18
Obrázek 11	Hydrolytické poškození celulózy.....	19
Obrázek 12	Oxidační poškození celulózy na prim. – OH skupině.....	19
Obrázek 13	Oxidační poškození celulózy na sek. - OH skupinách.....	19
Obrázek 14	Trojúhelník hoření.....	21
Obrázek 15	Pyrolýza neupravené celulózy.....	23
Obrázek 16	Testování nehořlavé úpravy.....	26
Obrázek 17	LKČ některých textílií.....	26
Obrázek 18	Vzorec pro výpočet mokrého přivažku.....	28
Obrázek 19	Atlas HMTV horizontal flame chamber.....	29
Obrázek 20	Vzorek č. 1 expozice plamenem 1s.....	30
Obrázek 21	Vzorek č. 2 expozice plamenem 3s.....	30
Obrázek 22	Vzorek č. 3 expozice plamenem 5s.....	30
Obrázek 23	Vzorek č. 4 expozice plamenem 10s.....	30
Obrázek 24	Vzorek č. 5 expozice plamenem 15s.....	30
Obrázek 25	Měření IR teploměrem Optris LS LT.....	31
Obrázek 26	Geometrie měření vzorku.....	31
Obrázek 27	RF spektrometr DELTA od Olympus Innov – X.....	32
Obrázek 28	Poloha měření RF spektrometrem na vzorcích.....	33
Obrázek 29	Místo měření vzorku na EDS.....	33
Obrázek 30	Velikost měřené oblasti.....	34
Obrázek 31	Nastavení programu ATILLA2.....	34
Obrázek 32	Spektrogram s uhlíkem a fosforem.....	35

Obrázek 33	Použité příkazy pro zpracování dat v programu MATLAB.....	35
Obrázek 34	Fosfor na tkanině po expozici 1s .....	41
Obrázek 35	Uhlík na tkanině po expozici 1s.....	41
Obrázek 36	Poměr P/C po expozici 1s.....	41
Obrázek 37	Fosfor na tkanině po expozici 3s.....	42
Obrázek 38	Uhlík na tkanině po expozici 3s.....	42
Obrázek 39	Poměr P/C po expozici 3s.....	42
Obrázek 40	Fosfor na tkanině po expozici 5s.....	43
Obrázek 41	Uhlík na tkanině po expozici 5s.....	43
Obrázek 42	Poměr P/C po expozici 5s.....	43
Obrázek 43	Fosfor na tkanině po expozici 10s.....	44
Obrázek 44	Uhlík na tkanině po expozici 10s.....	44
Obrázek 45	Poměr P/C po expozici 10s.....	44
Obrázek 46	Fosfor na tkanině po expozici 15s.....	45
Obrázek 47	Uhlík na tkanině po expozici 15s.....	45
Obrázek 48	Poměr P/C po expozici 15s.....	45



## **Seznam použitých grafů**

Graf 1	Krabicový graf naměřených emisí fosforu.....	28
Graf 2	5s expozice vzorku č. 3 .....	37
Graf 3	10s expozice vzorku č. 4 .....	37
Graf 4	15s expozice vzorku č. 5.....	38
Graf 5	Porovnání teplotního průběhu spalování vzorků.....	38

## **Seznam použitých tabulek**

Tabulka 1	Vzorky a čas expozice.....	29
Tabulka 2	Tabulka maximálních dosažených teplot.....	38
Tabulka 3	Průměr měření neexponované části.....	39
Tabulka 4	Výsledky měření pravého okraje vzorků.....	39
Tabulka 5	Naměřené hodnoty na EDS.....	40

## **Seznam příloh**

Příloha 1	Data vzorků z kalibrace a změření LIBS
Příloha 2	Mapy naměřených hodnot na LEA-S500
Příloha 3	Statistické údaje z měření LIBS
Příloha 4	Fotografie z EDS vzorku č.4 expozice plamenem 10s
Příloha 5	Jednotlivá spektra z měření EDS vzorku č.4

## Příloha 1 Data vzorků z kalibrace a z měření LIBS

### Kalibrace:

Měření	120 g/l	60 g/l	30 g/l	15 g/l	10 g/l	5 g/l	1 g/l
1	1120,5	632,5	392,5	436	153,5	59	47
2	1453,5	497,5	517,5	270	145	87	68
3	871,5	749,5	361,5	260,5	167,5	57	34
4	952	742,5	422	277,5	298,5	127	51
5	1725	632	322	219	190	87	42
Průměr	1224,5	650,8	403,1	292,6	190,9	83,4	48,4

### Vzorek č. 1 – expozice plamenem 1s:

Emise fosforu při vlnové délce 213,6182nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	1161	1295	1100	1021	608	1100	961	1063	1119	1206	1030	2019	1024	1966	1067	1084	1043	810	625	373	1894
27	927	653	709	511	561	752	718	1098	1014	852	1288	810	1166	1522	969	894	851	813	1080	1452	1590
24	1093	1086	1551	1056	684	776	950	1639	1358	983	599	661	989	1332	1241	743	1128	800	479	997	900
21	892	1066	1689	1542	1141	897	954	718	933	874	871	200	1262	1004	1759	989	1136	696	691	1119	1037
18	625	1077	886	828	839	992	768	1004	971	1442	1922	774	1024	804	858	969	1621	888	1121	1740	1208
15	1606	590	640	843	797	581	753	799	805	623	919	1055	713	878	794	1552	1147	1840	1511	972	691
12	932	671	852	552	1118	425	1191	881	590	880	760	1351	1130	1115	887	804	958	1183	1377	1104	1081
9	358	519	1328	619	716	1730	458	570	744	763	802	332	1088	825	1264	933	953	970	855	1796	965
6	1129	692	571	1087	988	384	1080	902	524	1578	971	1078	1316	903	1347	861	989	1272	882	1039	1454
3	426	383	654	557	447	954	958	973	1581	1785	1586	1037	1424	844	1655	2301	1056	1716	1349	1155	1235

Emise uhlíku při vlnové délce 193,0905nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	2845	2734	2598	2255	1703	2103	2366	1803	2081	2259	2619	3190	2611	2877	2492	2326	2218	2507	1477	1454	3054
27	1771	1658	1786	1467	1479	1773	1927	2384	1850	1548	2413	1699	2963	2523	1823	1881	1753	2014	1677	2378	3264
24	2375	2148	3169	1826	1133	1567	1768	2997	2095	2062	1636	2033	1672	2238	2136	1308	2364	1895	1652	2094	2716
21	1754	2693	2527	2574	2382	1684	2443	2090	1895	2093	1964	1703	2140	1954	2382	1575	2205	1575	1850	1826	1582
18	1737	2365	1702	1542	1874	1647	1485	1876	2369	2064	2968	1615	2169	1626	1546	1805	2418	1588	2251	2743	2392
15	2325	1263	1549	1320	1385	1148	1603	1607	1544	1224	1989	2077	2070	1719	1610	2422	2308	2873	2005	2484	1946
12	1609	1190	1666	1490	1596	1137	1587	1612	1375	1746	1708	2275	1803	1704	1804	1339	1539	1737	2568	2087	1908
9	1258	1106	1791	1227	1695	2528	972	1081	1215	1355	1734	612	2124	1516	2101	1145	1272	1505	2169	2037	1586
6	2737	1745	1024	1476	1760	938	1851	2250	2020	3078	2065	1878	2069	1505	2065	1308	1330	1634	1350	1650	2180
3	967	891	1293	1415	1658	2027	2342	1917	3336	3117	3100	1984	2863	2187	3219	3775	2189	2786	2343	2291	2217

Vypočítaný poměr fosfor/uhlík:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	0,41	0,47	0,42	0,45	0,36	0,52	0,41	0,59	0,54	0,53	0,39	0,63	0,39	0,68	0,43	0,47	0,47	0,32	0,42	0,26	0,62
27	0,52	0,39	0,40	0,35	0,38	0,42	0,37	0,46	0,55	0,55	0,53	0,48	0,39	0,60	0,53	0,48	0,49	0,40	0,64	0,61	0,49
24	0,46	0,51	0,49	0,58	0,60	0,50	0,54	0,55	0,65	0,48	0,37	0,33	0,59	0,60	0,58	0,57	0,48	0,42	0,29	0,48	0,33
21	0,51	0,40	0,67	0,60	0,48	0,53	0,39	0,34	0,49	0,42	0,44	0,12	0,59	0,51	0,74	0,63	0,52	0,44	0,37	0,61	0,66
18	0,36	0,46	0,52	0,54	0,45	0,60	0,52	0,54	0,41	0,70	0,65	0,48	0,47	0,49	0,56	0,54	0,67	0,56	0,50	0,63	0,51
15	0,69	0,47	0,41	0,64	0,58	0,51	0,47	0,50	0,52	0,51	0,46	0,51	0,34	0,51	0,49	0,64	0,50	0,64	0,75	0,39	0,36
12	0,58	0,56	0,51	0,37	0,70	0,37	0,75	0,55	0,43	0,50	0,44	0,59	0,63	0,65	0,49	0,60	0,62	0,68	0,54	0,53	0,57
9	0,28	0,47	0,74	0,50	0,42	0,68	0,47	0,53	0,61	0,56	0,46	0,54	0,51	0,54	0,60	0,82	0,75	0,64	0,39	0,88	0,61
6	0,41	0,40	0,56	0,74	0,56	0,41	0,58	0,40	0,26	0,51	0,47	0,57	0,64	0,60	0,65	0,66	0,74	0,78	0,65	0,63	0,67
3	0,44	0,43	0,51	0,39	0,27	0,47	0,41	0,51	0,47	0,57	0,51	0,52	0,50	0,39	0,51	0,61	0,48	0,62	0,58	0,50	0,56

**Vzorek č. 2 - expozice plamenem 3s:**

Emise fosforu při vlnové délce 213,6182nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	921	761	945	543	564	343	519	415	552	396	439	1011	430	1438	747	777	1070	362	382	434	1440
27	633	443	1258	701	258	530	565	992	1302	1110	892	377	859	554	714	604	437	468	1808	1116	1158
24	986	657	1091	1163	588	995	1176	1072	1238	596	482	813	913	939	546	719	430	691	759	1376	578
21	1757	1730	1177	831	701	318	807	942	589	894	629	1067	698	854	570	685	548	547	762	956	790
18	432	513	741	914	777	850	1321	729	718	740	482	891	731	1078	728	693	566	784	673	741	1079
15	959	858	691	831	631	323	801	672	808	873	609	529	699	1157	540	710	412	981	446	450	810
12	660	647	465	757	606	363	529	309	835	527	511	555	417	710	895	646	654	652	368	1034	935
9	625	1199	1165	271	594	493	633	638	648	699	414	408	468	888	683	287	393	386	1029	1041	1534
6	819	849	1078	886	403	500	1042	398	527	484	586	711	243	389	533	472	620	348	1018	572	1122
3	959	844	606	741	576	1024	1018	1577	2160	1409	529	677	1028	1148	2697	1220	746	519	984	539	413

Emise uhlíku při vlnové délce 193,0905nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	1604	1187	1214	979	744	399	587	647	812	780	868	1002	947	1295	1058	881	1051	441	678	639	1250
27	960	862	1333	942	443	830	848	1059	1288	1256	1312	506	1045	721	1024	736	580	769	1371	1326	1200
24	1235	1038	927	1167	591	883	1177	1068	1128	1209	956	1120	1008	1205	586	736	805	786	714	1283	700
21	2204	2055	1767	919	728	537	913	1122	784	861	1092	1381	1251	1247	930	1120	714	690	828	1423	1095
18	662	853	1058	838	866	1085	1350	720	933	1171	764	1160	1455	1319	1151	703	1028	957	694	1175	943
15	1136	1292	1065	1121	722	374	563	881	1040	1312	719	730	1003	1484	856	1000	652	1679	619	635	612
12	901	616	721	1310	815	520	807	517	1129	916	700	1022	779	1023	1497	1130	1062	943	636	843	822
9	1083	1447	1005	351	733	496	692	876	1266	1183	766	524	697	1096	967	497	477	486	978	1065	1831
6	1004	1003	1732	884	597	666	925	616	778	630	702	1213	312	631	767	696	702	627	962	657	1219
3	1217	1006	1036	1006	847	917	841	1911	3428	1449	805	1118	1908	1926	3382	1297	735	738	1035	649	525

Vypočítaný poměr fosfor/uhlík:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	0,57	0,64	0,78	0,55	0,76	0,86	0,88	0,64	0,68	0,51	0,51	1,01	0,45	1,11	0,71	0,88	1,02	0,82	0,56	0,68	1,15
27	0,66	0,51	0,94	0,74	0,58	0,64	0,67	0,94	1,01	0,88	0,68	0,75	0,82	0,77	0,70	0,82	0,75	0,61	1,32	0,84	0,97
24	0,80	0,63	1,18	1,00	0,99	1,13	1,00	1,00	1,10	0,49	0,50	0,73	0,91	0,78	0,93	0,98	0,53	0,88	1,06	1,07	0,83
21	0,80	0,84	0,67	0,90	0,96	0,59	0,88	0,84	0,75	1,04	0,58	0,77	0,56	0,68	0,61	0,61	0,77	0,79	0,92	0,67	0,72
18	0,65	0,60	0,70	1,09	0,90	0,78	0,98	1,01	0,77	0,63	0,63	0,77	0,50	0,82	0,63	0,99	0,55	0,82	0,97	0,63	1,14
15	0,84	0,66	0,65	0,74	0,87	0,86	1,42	0,76	0,78	0,67	0,85	0,72	0,70	0,78	0,63	0,71	0,63	0,58	0,72	0,71	1,32
12	0,73	1,05	0,64	0,58	0,74	0,70	0,66	0,60	0,74	0,58	0,73	0,54	0,54	0,69	0,60	0,57	0,62	0,69	0,58	1,23	1,14
9	0,58	0,83	1,16	0,77	0,81	0,99	0,91	0,73	0,51	0,59	0,54	0,78	0,67	0,81	0,71	0,58	0,82	0,79	1,05	0,98	0,84
6	0,82	0,85	0,62	1,00	0,68	0,75	1,13	0,65	0,68	0,77	0,83	0,59	0,78	0,62	0,69	0,68	0,88	0,56	1,06	0,87	0,92
3	0,79	0,84	0,58	0,74	0,68	1,12	1,21	0,83	0,63	0,97	0,66	0,61	0,54	0,60	0,80	0,94	1,01	0,70	0,95	0,83	0,79

**Vzorek č. 3 - expozice plamenem 5s:**

Emise fosforu při vlnové délce 213,6182nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	497	657	580	519	345	501	729	360	302	316	252	527	510	632	329	480	372	497	1099	570	966
27	844	1153	734	469	489	524	455	1466	999	418	681	759	974	466	1000	292	300	529	663	1501	649
24	1264	805	1105	1642	740	1275	712	1054	504	598	637	956	964	286	708	473	458	765	414	587	1048
21	1226	1028	1274	971	560	868	767	722	917	1202	695	604	654	775	433	411	612	593	955	596	892
18	695	1103	1101	1113	1163	881	780	1276	1074	1250	1953	1897	1267	591	440	637	838	1740	701	1075	1365
15	908	1313	1228	903	1180	723	911	1088	1408	1315	1041	1369	1675	1293	825	1261	992	912	802	689	380
12	821	1055	1061	743	488	772	590	1420	1213	2029	1399	1421	1464	1416	907	506	816	1445	1113	982	952
9	1071	941	1190	663	807	1252	1007	1070	1232	1336	1421	1680	2201	1743	1537	526	1281	985	655	1050	911
6	642	980	682	956	973	2156	2267	2932	1819	1730	2830	2451	3204	1594	2038	1473	1589	734	777	840	1044
3	622	1300	658	1193	1545	1409	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2899	1048	626	938	1085

Emise uhlíku při vlnové délce 193,0905nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	913	781	860	598	461	520	836	436	478	511	445	933	1163	1151	456	776	389	595	1164	877	1160
27	1438	1777	1033	495	526	537	614	1340	1213	685	1249	1348	1632	809	1177	459	487	524	953	1473	858
24	1647	963	974	1243	743	1030	911	1133	579	819	864	1633	1570	492	812	628	518	914	500	755	897
21	1550	1891	2083	1079	728	1128	1245	1128	1284	1762	950	952	929	1063	593	629	1231	863	893	636	849
18	1374	1593	1298	1136	1032	1358	1964	1349	1409	1631	2611	3109	1712	1006	728	1171	1519	2406	1084	1771	1255
15	1823	1617	1631	1073	1095	850	1211	1355	1862	1662	1361	2302	2485	2103	1331	1633	1652	1227	1458	858	628
12	1509	1919	1119	1208	683	1157	1070	1704	1897	2975	2020	1323	1017	2407	1139	994	1209	1629	1541	1072	1181
9	1426	1482	1199	892	1281	1179	1410	1997	2034	2055	2444	2486	3118	2519	2390	939	1417	1380	984	1175	1099
6	993	1030	656	1077	925	3623	3817	5573	3394	2871	3221	3799	4660	1194	1469	1920	1518	958	1129	1028	1150
3	838	2166	1521	1632	2145	2428	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3988	2031	2228	1781	1128

Vypočítaný poměr fosfor/uhlík:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	0,54	0,84	0,67	0,87	0,75	0,96	0,87	0,83	0,63	0,62	0,57	0,56	0,44	0,55	0,72	0,62	0,96	0,84	0,94	0,65	0,83
27	0,59	0,65	0,71	0,95	0,93	0,98	0,74	1,09	0,82	0,61	0,55	0,56	0,60	0,58	0,85	0,64	0,62	1,01	0,70	1,02	0,76
24	0,77	0,84	1,13	1,32	1,00	1,24	0,78	0,93	0,87	0,73	0,74	0,59	0,61	0,58	0,87	0,75	0,88	0,84	0,83	0,78	1,17
21	0,79	0,54	0,61	0,90	0,77	0,77	0,62	0,64	0,71	0,68	0,73	0,63	0,70	0,73	0,73	0,65	0,50	0,69	1,07	0,94	1,05
18	0,51	0,69	0,85	0,98	1,13	0,65	0,40	0,95	0,76	0,77	0,75	0,61	0,74	0,59	0,60	0,54	0,55	0,72	0,65	0,61	1,09
15	0,50	0,81	0,75	0,84	1,08	0,85	0,75	0,80	0,76	0,79	0,76	0,59	0,67	0,61	0,62	0,77	0,60	0,74	0,55	0,80	0,61
12	0,54	0,55	0,95	0,62	0,71	0,67	0,55	0,83	0,64	0,68	0,69	1,07	1,44	0,59	0,80	0,51	0,67	0,89	0,72	0,92	0,81
9	0,75	0,63	0,99	0,74	0,63	1,06	0,71	0,54	0,61	0,65	0,58	0,68	0,71	0,69	0,64	0,56	0,90	0,71	0,67	0,89	0,83
6	0,65	0,95	1,04	0,89	1,05	0,60	0,59	0,53	0,54	0,60	0,88	0,65	0,69	1,34	1,39	0,77	1,05	0,77	0,69	0,82	0,91
3	0,74	0,60	0,43	0,73	0,72	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,52	0,28	0,53	0,96

**Vzorek č. 4 - expozice plamenem 10s:**

Emise fosforu při vlnové délce 213,6182nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	699	706	425	913	424	413	465	515	598	562	473	387	651	330	416	763	528	560	486	841	1104
27	709	792	805	821	344	459	401	423	365	390	680	559	567	471	490	590	284	498	535	445	412
24	788	953	869	774	677	680	370	530	747	484	917	1041	991	714	604	853	397	683	364	754	521
21	607	626	1100	931	770	450	611	515	556	713	793	649	448	553	484	703	421	1025	602	666	723
18	1054	735	484	386	761	801	822	814	808	1742	1619	1211	1915	1534	1468	689	510	439	621	412	576
15	1126	886	518	739	569	441	519	917	1843	1345	1599	1181	1544	1062	845	504	517	704	351	837	689
12	1219	703	540	875	549	689	702	1029	1172	1268	1624	1816	1119	988	908	697	501	679	605	557	618
9	847	896	869	842	621	510	869	2110	1102	1243	1162	2991	1348	1455	1078	1479	942	361	1116	662	1381
6	826	961	923	772	630	554	826	1532	1732	1812	2429	1953	1729	1201	1495	1278	918	615	1008	1277	1351
3	918	1145	782	620	921	691	824	2158	2288	3079	2835	3154	3522	2850	3029	1918	1572	1122	427	439	621

Emise uhlíku při vlnové délce 193,0905nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	1710	1143	1432	1592	997	1000	1327	1234	1270	1052	988	1424	1434	966	994	1026	955	991	854	1391	1907
27	1261	1314	1313	1220	761	1113	940	1298	851	981	1109	1230	1818	1607	1058	1115	571	764	1110	1022	703
24	1517	2279	1341	1298	1174	1113	904	1525	1585	1086	965	1071	1304	1767	1623	2009	915	1223	625	1249	1141
21	1714	1586	1841	1311	1033	815	1651	1596	1257	1802	1794	1821	939	845	1225	1392	1421	1984	1502	1436	1425
18	1276	1173	991	967	1245	1328	1860	1979	1686	2612	2536	1706	2379	3006	2156	1143	1170	1036	1813	1021	1290
15	1628	1433	1095	1217	1098	1544	1027	1561	2488	2034	2122	1601	2352	1373	1429	1056	1121	1596	999	1578	832
12	2060	1526	1405	1597	1205	1213	1846	1212	1432	1535	2301	2038	1198	1170	1493	964	1025	1270	1240	1545	1197
9	1384	1746	2102	1502	1237	1031	1056	2564	1252	1528	1394	4106	1475	1683	1408	2326	1527	897	1733	1293	2160
6	1047	1943	1506	1019	1382	1228	1479	1668	2143	2938	2504	2397	2383	1731	1975	1444	1430	1355	2205	2277	2558
3	1246	1845	1249	1526	1657	1494	1493	3132	2893	4160	3561	4335	4112	3351	4019	2503	1692	1675	928	409	940

Vypočítaný poměr fosfor/uhlík:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	0,41	0,62	0,30	0,57	0,43	0,41	0,35	0,42	0,47	0,53	0,48	0,27	0,45	0,34	0,42	0,74	0,55	0,57	0,57	0,60	0,58
27	0,56	0,60	0,61	0,67	0,45	0,41	0,43	0,33	0,43	0,40	0,61	0,45	0,31	0,29	0,46	0,53	0,50	0,65	0,48	0,44	0,59
24	0,52	0,42	0,65	0,60	0,58	0,61	0,41	0,35	0,47	0,45	0,95	0,97	0,76	0,40	0,37	0,42	0,43	0,56	0,58	0,60	0,46
21	0,35	0,39	0,60	0,71	0,75	0,55	0,37	0,32	0,44	0,40	0,44	0,36	0,48	0,65	0,40	0,51	0,30	0,52	0,40	0,46	0,51
18	0,83	0,63	0,49	0,40	0,61	0,60	0,44	0,41	0,48	0,67	0,64	0,71	0,80	0,51	0,68	0,60	0,44	0,42	0,34	0,40	0,45
15	0,69	0,62	0,47	0,61	0,52	0,29	0,51	0,59	0,74	0,66	0,75	0,74	0,66	0,77	0,59	0,48	0,46	0,44	0,35	0,53	0,83
12	0,59	0,46	0,38	0,55	0,46	0,57	0,38	0,85	0,82	0,83	0,71	0,89	0,93	0,84	0,61	0,72	0,49	0,53	0,49	0,36	0,52
9	0,61	0,51	0,41	0,56	0,50	0,49	0,82	0,82	0,88	0,81	0,83	0,73	0,91	0,86	0,77	0,64	0,62	0,40	0,64	0,51	0,64
6	0,79	0,49	0,61	0,76	0,46	0,45	0,56	0,92	0,81	0,62	0,97	0,81	0,73	0,69	0,76	0,89	0,64	0,45	0,46	0,56	0,53
3	0,74	0,62	0,63	0,41	0,56	0,46	0,55	0,69	0,79	0,74	0,80	0,73	0,86	0,85	0,75	0,77	0,93	0,67	0,46	1,07	0,66

**Vzorek č. 5 - expozice plamenem 15s:**

Emise fosforu při vlnové délce 213,6182nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	237	252	596	309	484	473	246	372	540	545	523	421	386	340	635	384	233	367	460	369	208
27	571	377	551	638	307	340	510	555	346	275	241	459	337	389	131	349	446	311	624	731	618
24	755	512	423	636	717	439	417	727	862	912	1065	577	723	800	443	346	419	420	402	534	322
21	321	545	635	691	287	457	1002	1095	374	875	995	1158	923	789	739	568	329	351	426	679	452
18	309	431	432	390	737	617	637	460	829	769	901	1543	1421	1028	625	1159	933	330	794	701	591
15	573	391	600	547	582	243	931	729	688	1145	828	1811	1316	1256	826	794	565	387	503	649	1276
12	441	514	802	905	787	481	1022	855	1281	1768	1415	1043	703	769	741	963	550	380	513	606	423
9	749	818	582	456	536	522	833	1212	1311	652	682	1018	658	645	461	559	562	896	302	541	436
6	380	1046	1178	525	448	718	1092	916	1727	1674	1746	1019	948	1113	948	786	755	435	420	354	685
3	1098	856	734	464	1052	2101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	781	1400	1178	630	557	933

Emise uhlíku při vlnové délce 193,0905nm:

mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	628	486	879	570	485	609	383	587	1180	953	773	670	682	728	937	755	598	529	676	613	424
27	790	668	936	773	642	489	779	604	594	411	583	987	542	1086	342	547	910	506	917	672	911
24	839	1212	837	779	836	887	738	710	1069	1275	1267	1615	737	900	1033	681	583	646	784	640	841
21	530	703	780	910	583	671	1466	1536	450	1019	1078	1776	1018	1008	1116	873	530	553	662	778	569
18	540	489	600	660	885	773	1122	673	1012	1045	1241	2204	1451	1345	786	1091	921	618	1005	905	847
15	862	626	944	743	1108	370	1034	934	802	1156	1330	2357	1718	1603	979	976	878	589	803	936	1382
12	773	976	1032	1131	940	813	1140	934	1437	2136	2097	1139	700	957	848	865	629	598	865	959	499
9	1101	1042	706	757	757	615	1108	1290	1831	817	1258	1210	714	727	926	777	845	1022	589	608	807
6	637	1317	1441	868	794	997	1222	842	2289	1733	2364	1107	1271	1561	1121	634	904	696	772	623	771
3	1253	1419	876	1018	1728	2153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1330	1690	1786	944	1143	1227

Vypočítaný poměr fosfor/uhlík:

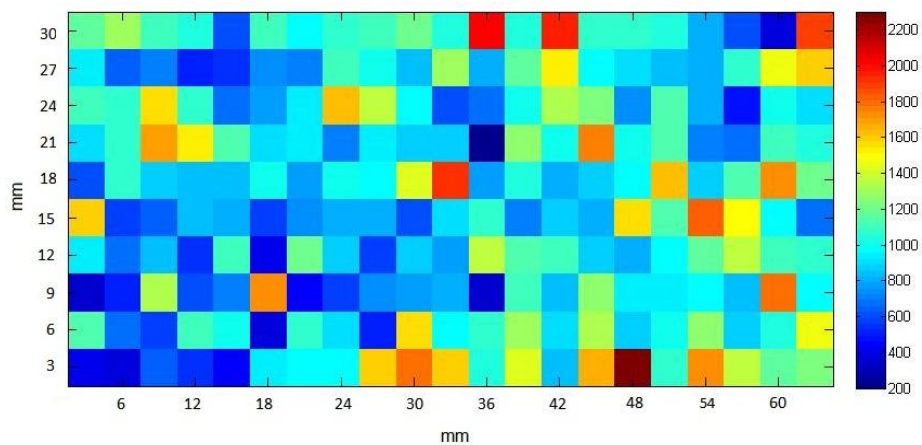
mm	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63
30	0,38	0,52	0,68	0,54	1,00	0,78	0,64	0,63	0,46	0,57	0,68	0,63	0,57	0,47	0,68	0,51	0,39	0,69	0,68	0,60	0,49
27	0,72	0,56	0,59	0,83	0,48	0,70	0,65	0,92	0,58	0,67	0,41	0,47	0,62	0,36	0,38	0,64	0,49	0,61	0,68	1,09	0,68
24	0,90	0,42	0,51	0,82	0,86	0,49	0,57	1,02	0,81	0,72	0,84	0,36	0,98	0,89	0,43	0,51	0,72	0,65	0,51	0,83	0,38
21	0,61	0,78	0,81	0,76	0,49	0,68	0,68	0,71	0,83	0,86	0,92	0,65	0,91	0,78	0,66	0,65	0,62	0,63	0,64	0,87	0,79
18	0,57	0,88	0,72	0,59	0,83	0,80	0,57	0,68	0,82	0,74	0,73	0,70	0,98	0,76	0,80	1,06	1,01	0,53	0,79	0,77	0,70
15	0,66	0,62	0,64	0,74	0,53	0,66	0,90	0,78	0,86	0,99	0,62	0,77	0,77	0,78	0,84	0,81	0,64	0,66	0,63	0,69	0,92
12	0,57	0,53	0,78	0,80	0,84	0,59	0,90	0,92	0,89	0,83	0,67	0,92	1,00	0,80	0,87	1,11	0,87	0,64	0,59	0,63	0,85
9	0,68	0,79	0,82	0,60	0,71	0,85	0,75	0,94	0,72	0,80	0,54	0,84	0,92	0,89	0,50	0,72	0,67	0,88	0,51	0,89	0,54
6	0,60	0,79	0,82	0,60	0,56	0,72	0,89	1,09	0,75	0,97	0,74	0,92	0,75	0,71	0,85	1,24	0,84	0,63	0,54	0,57	0,89
3	0,88	0,60	0,84	0,46	0,61	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,59	0,83	0,66	0,67	0,49	0,76



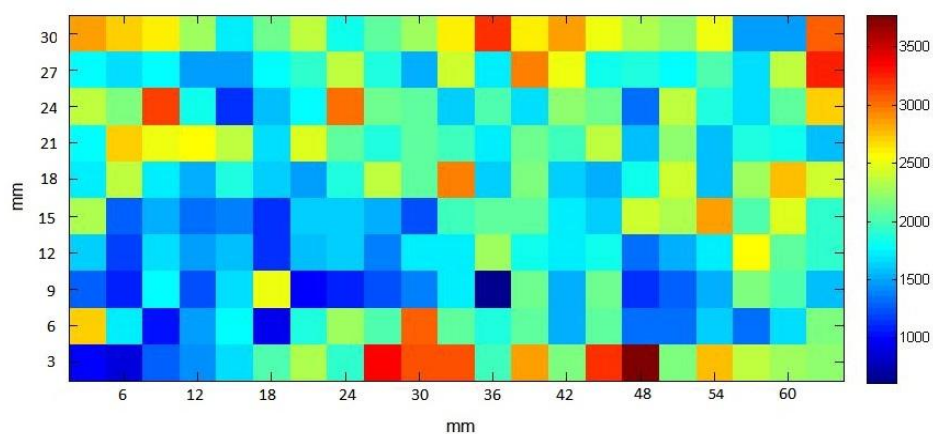
## Příloha 2 Mapy naměřených hodnot na LEA-S500

### Vzorek č. 1 – expozice plamenem 1s:

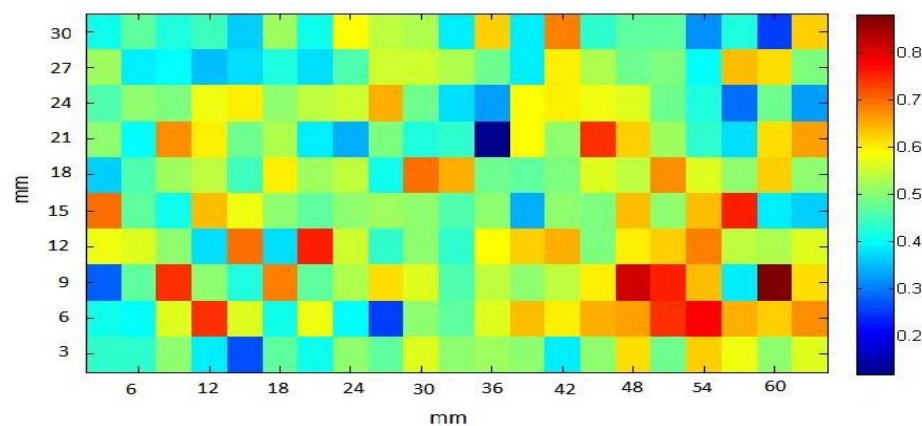
Fosfor:



Uhlík:

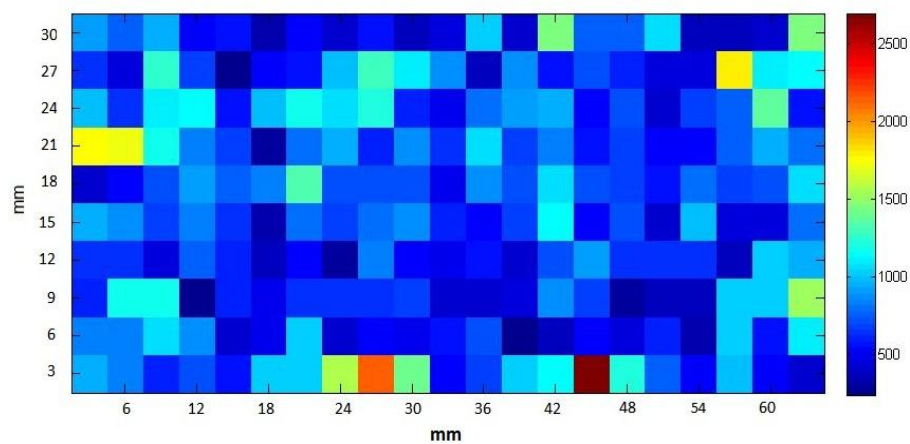


Poměr fosfor/uhlík:

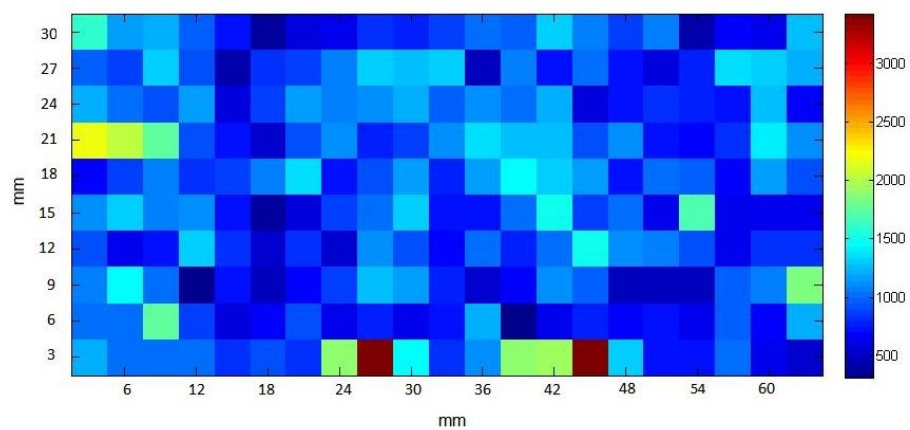


## Vzorek č. 2 – expozice plamenem 3s:

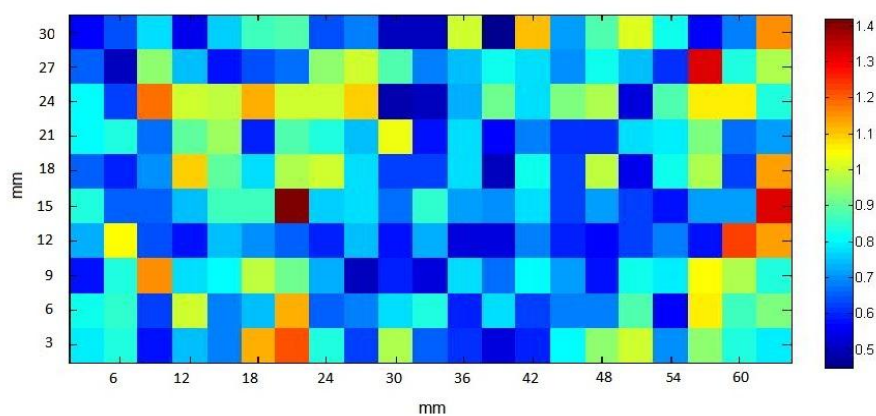
Fosfor:



Uhlík:

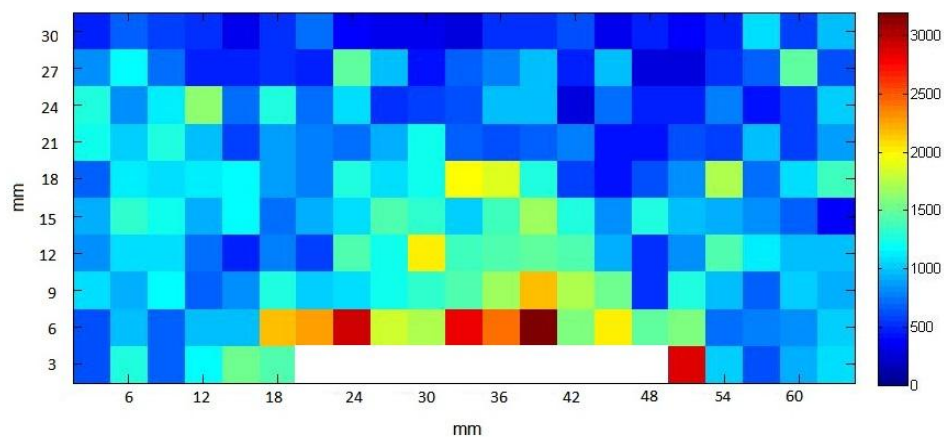


Poměr fosfor/uhlík:

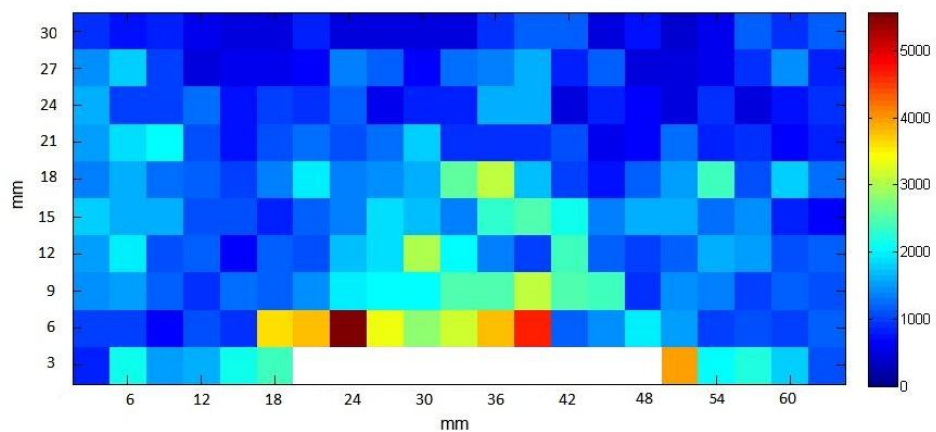


### Vzorek č. 3 – expozice plamenem 5s:

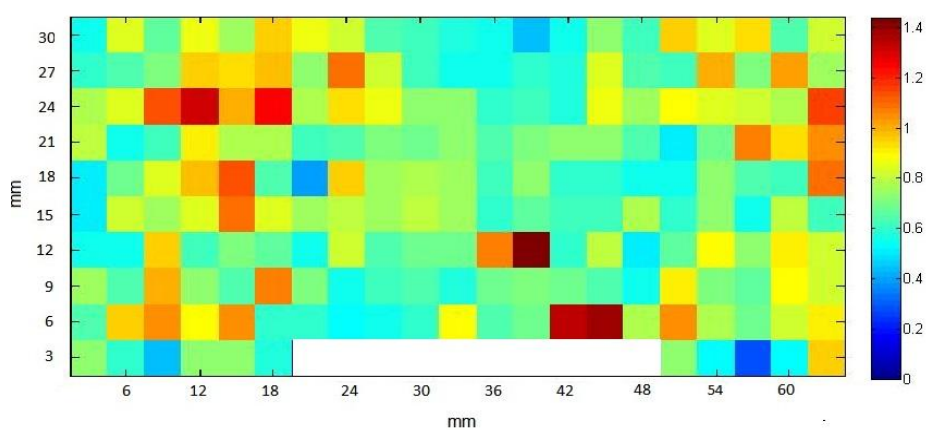
Fosfor:



Uhlík:

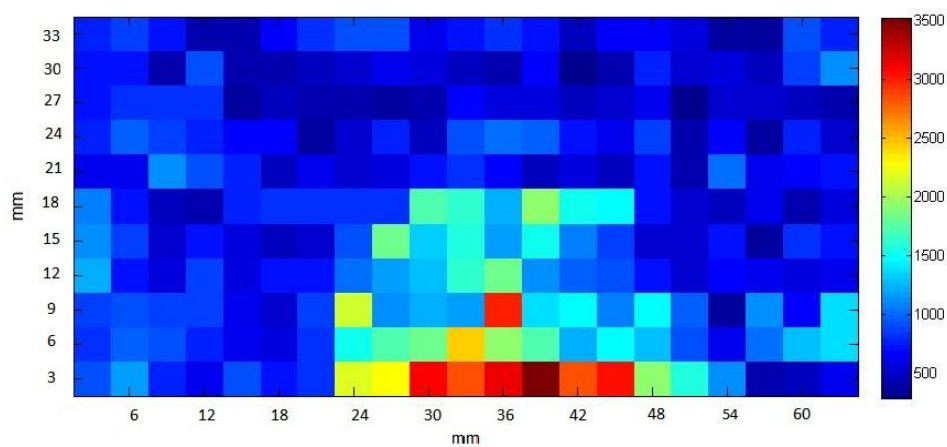


Poměr fosfor/uhlík:

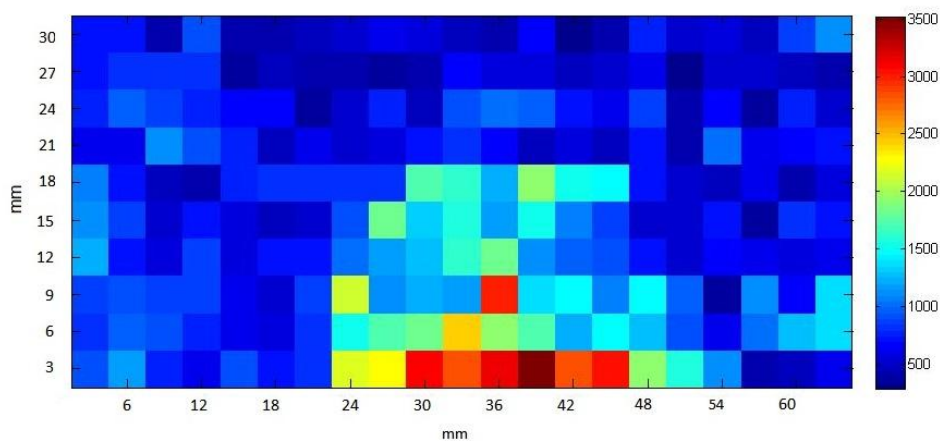


#### Vzorek č. 4 – expozice plamenem 10s:

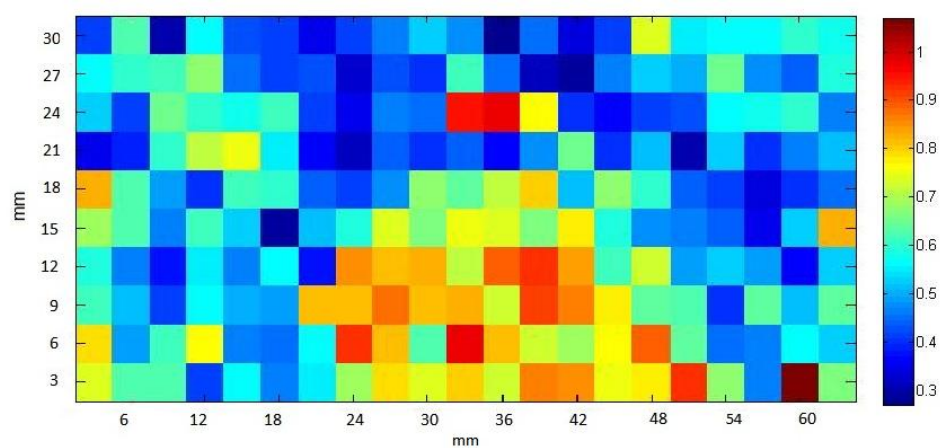
Fosfor:



Uhlík:



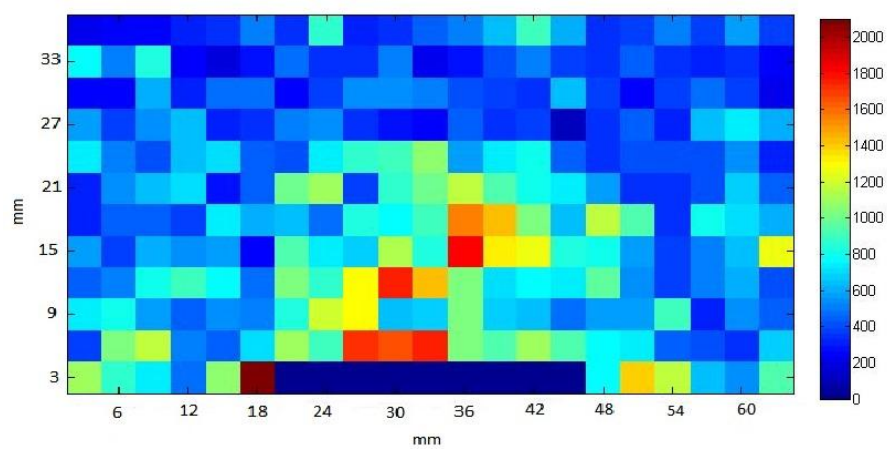
Poměr fosfor/uhlík:



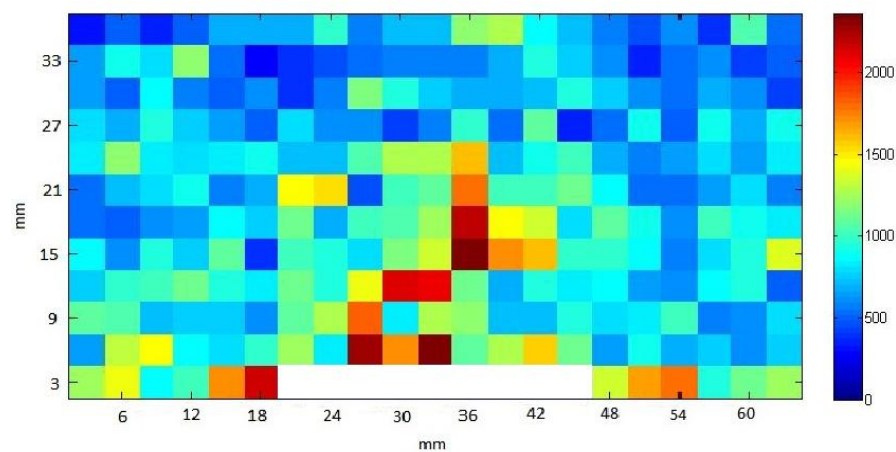


**Vzorek č. 5 – expozice plamenem 15s:**

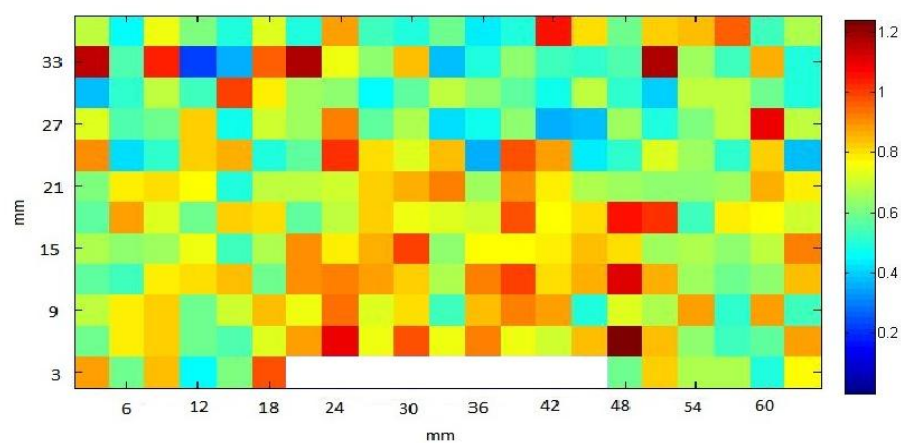
Fosfor:



Uhlík:



Poměr fosfor/uhlík:



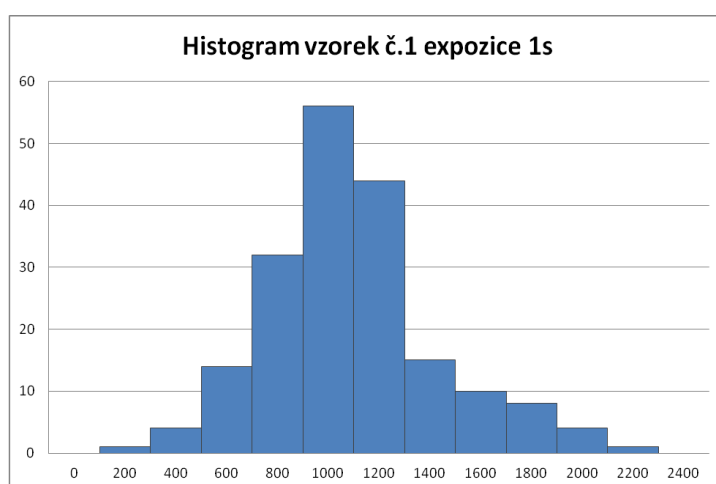
## Příloha 3 Statistické údaje z měření LIBS

### Vzorek č. 1 expozice 1s Fosfor:

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	1122,33	89,85	1067,00	411,72	373,00	2019,00	21,00
Řádek2	963,33	66,08	894,00	302,82	511,00	1590,00	21,00
Řádek3	1002,14	66,55	989,00	304,96	479,00	1639,00	21,00
Řádek4	1022,38	76,06	989,00	348,56	200,00	1759,00	21,00
Řádek5	1064,81	74,67	971,00	342,19	625,00	1922,00	21,00
Řádek6	957,57	80,01	805,00	366,65	581,00	1840,00	21,00
Řádek7	944,86	55,77	932,00	255,56	425,00	1377,00	21,00
Řádek8	885,14	85,78	825,00	393,07	332,00	1796,00	21,00
Řádek9	1002,24	65,66	989,00	300,90	384,00	1578,00	21,00
Řádek10	1146,48	111,56	1056,00	511,23	383,00	2301,00	21,00
průměr	1011,13	77,20	951,70	353,77	429,30	1782,10	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	914,90	117,85	929,50	372,66	358,00	1606,00	10,00
Sloupec2	803,20	95,51	681,50	302,04	383,00	1295,00	10,00
Sloupec3	998,00	126,88	869,00	401,22	571,00	1689,00	10,00
Sloupec4	861,60	102,68	835,50	324,69	511,00	1542,00	10,00
Sloupec5	789,90	73,96	756,50	233,90	447,00	1141,00	10,00
Sloupec6	859,10	122,68	836,50	387,94	384,00	1730,00	10,00
Sloupec7	879,10	66,06	952,00	208,90	458,00	1191,00	10,00
Sloupec8	964,70	90,60	937,50	286,51	570,00	1639,00	10,00
Sloupec9	963,90	103,85	952,00	328,40	524,00	1581,00	10,00
Sloupec10	1098,60	122,10	931,50	386,10	623,00	1785,00	10,00
Sloupec11	1074,80	129,23	945,00	408,66	599,00	1922,00	10,00
Sloupec12	931,70	163,77	923,50	517,87	200,00	2019,00	10,00
Sloupec13	1113,60	62,81	1109,00	198,63	713,00	1424,00	10,00
Sloupec14	1119,30	120,39	953,50	380,71	804,00	1966,00	10,00
Sloupec15	1184,10	105,16	1154,00	332,53	794,00	1759,00	10,00
Sloupec16	1113,00	149,71	951,00	473,43	743,00	2301,00	10,00
Sloupec17	1088,20	66,30	1049,50	209,66	851,00	1621,00	10,00
Sloupec18	1098,80	126,71	929,00	400,70	696,00	1840,00	10,00
Sloupec19	997,00	109,97	981,00	347,77	479,00	1511,00	10,00
Sloupec20	1174,70	130,16	1111,50	411,60	373,00	1796,00	10,00
Sloupec21	1205,50	112,76	1144,50	356,57	691,00	1894,00	10,00
Průměr	1011,13	109,48	949,19	346,21	560,57	1678,67	10,00

Třídy	Četnost	%
0	0	0,00
200	1	0,48
400	4	1,90
600	14	6,67
800	32	15,24
1000	56	26,67
1200	44	20,95
1400	15	7,14
1600	10	4,76
1800	8	3,81
2000	4	1,90
2200	1	0,48
2400	0	0

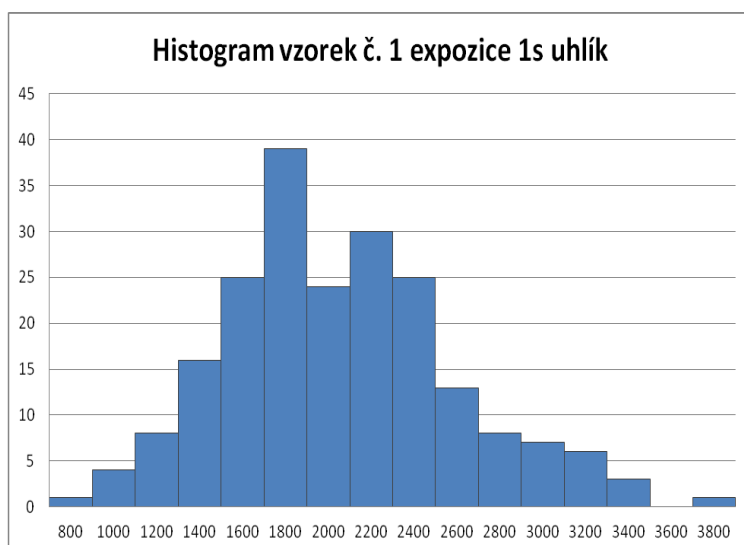


**Vzorek č. 1 expozice 1s Uhlík:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	2360,55	104,29	2366,00	477,90	1454,00	3190,00	21,00
Řádek2	2001,43	104,84	1823,00	480,43	1466,50	3264,00	21,00
Řádek3	2042,10	110,23	2062,00	505,14	1133,00	3169,00	21,00
Řádek4	2042,36	76,64	1964,00	351,19	1575,00	2692,50	21,00
Řádek5	1989,43	93,48	1874,00	428,39	1485,00	2967,50	21,00
Řádek6	1831,76	103,08	1718,50	472,39	1148,00	2873,00	21,00
Řádek7	1689,31	72,77	1665,50	333,47	1136,50	2568,00	21,00
Řádek8	1524,90	103,82	1505,00	475,78	611,50	2527,50	21,00
Řádek9	1805,26	113,22	1760,00	518,84	938,00	3078,00	21,00
Řádek10	2281,52	170,96	2217,00	783,43	890,50	3775,00	21,00
průměr	1956,86	105,33	1895,50	482,70	1183,80	3010,45	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	1937,65	194,87	1762,50	616,23	967,00	2845,00	10,00
Sloupec2	1779,10	213,40	1701,50	674,84	890,50	2734,00	10,00
Sloupec3	1910,35	207,31	1743,75	655,57	1024,00	3169,00	10,00
Sloupec4	1659,00	137,24	1483,00	433,99	1226,50	2574,00	10,00
Sloupec5	1666,40	103,83	1676,25	328,33	1133,00	2382,00	10,00
Sloupec6	1655,05	155,01	1665,50	490,18	938,00	2527,50	10,00
Sloupec7	1834,25	145,43	1809,50	459,90	972,00	2442,50	10,00
Sloupec8	1961,65	163,58	1896,50	517,30	1081,00	2997,00	10,00
Sloupec9	1977,90	187,97	1957,50	594,41	1214,50	3335,50	10,00
Sloupec10	2054,45	204,19	2063,00	645,71	1223,50	3117,00	10,00
Sloupec11	2219,55	167,06	2027,00	528,30	1636,00	3100,00	10,00
Sloupec12	1906,50	202,25	1930,75	639,57	611,50	3190,00	10,00
Sloupec13	2248,10	135,32	2131,50	427,93	1672,00	2963,00	10,00
Sloupec14	1984,75	146,07	1836,25	461,91	1505,00	2877,00	10,00
Sloupec15	2117,65	156,24	2082,75	494,08	1545,50	3219,00	10,00
Sloupec16	1888,30	250,99	1689,75	793,71	1144,50	3775,00	10,00
Sloupec17	1959,50	139,96	2196,75	442,59	1272,00	2418,00	10,00
Sloupec18	2011,30	164,82	1816,00	521,22	1505,00	2873,00	10,00
Sloupec19	1934,00	126,15	1927,25	398,93	1349,50	2568,00	10,00
Sloupec20	2104,25	123,49	2090,25	390,52	1454,00	2742,50	10,00
Sloupec21	2284,40	182,68	2198,50	577,70	1582,00	3264,00	10,00
průměr	1956,86	167,04	1889,80	528,23	1235,57	2910,14	10,00

Třídy	Četnost	%
800	1	0,48
1000	4	1,90
1200	8	3,81
1400	16	7,62
1600	25	11,90
1800	39	18,57
2000	24	11,43
2200	30	14,29
2400	25	11,90
2600	13	6,19
2800	8	3,81
3000	7	3,33
3200	6	2,86
3400	3	1,43
3600	0	0,00
3800	1	0,48

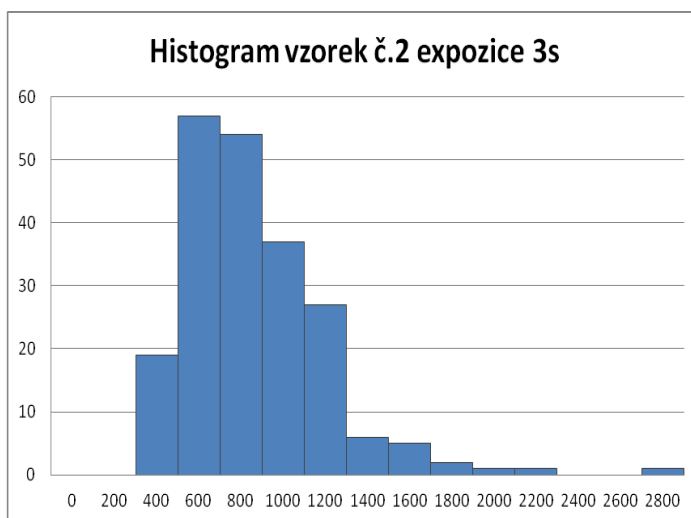


**Vzorek č. 2 expozice 3s Fosfor:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	689,95	73,53	552,00	336,94	343,00	1440,00	21,00
Řádek2	799,00	84,02	701,00	385,03	258,00	1808,00	21,00
Řádek3	848,00	59,58	813,00	273,03	430,00	1376,00	21,00
Řádek4	850,10	77,46	790,00	354,98	318,00	1757,00	21,00
Řádek5	770,52	45,42	740,00	208,14	432,00	1321,00	21,00
Řádek6	704,29	45,81	699,00	209,94	323,00	1157,00	21,00
Řádek7	622,62	42,23	646,00	193,54	309,00	1034,00	21,00
Řádek8	690,29	73,32	633,00	336,01	271,00	1534,00	21,00
Řádek9	647,62	57,60	572,00	263,97	243,00	1122,00	21,00
Řádek10	1019,71	123,41	959,00	565,55	413,00	2697,00	21,00
prumer	764,21	68,24	710,50	312,71	334,00	1524,60	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	875,10	114,17	870,00	361,04	432,00	1757,00	10,00
Sloupec2	850,10	118,41	802,50	374,45	443,00	1730,00	10,00
Sloupec3	921,70	87,26	1011,50	275,93	465,00	1258,00	10,00
Sloupec4	763,80	74,68	794,00	236,17	271,00	1163,00	10,00
Sloupec5	569,80	46,10	591,00	145,77	258,00	777,00	10,00
Sloupec6	573,90	87,96	496,50	278,15	318,00	1024,00	10,00
Sloupec7	841,10	90,53	804,00	286,27	519,00	1321,00	10,00
Sloupec8	774,40	121,42	700,50	383,95	309,00	1577,00	10,00
Sloupec9	937,70	160,40	763,00	507,23	527,00	2160,00	10,00
Sloupec10	772,80	98,14	719,50	310,33	396,00	1409,00	10,00
Sloupec11	557,30	43,39	520,00	137,22	414,00	892,00	10,00
Sloupec12	703,90	76,09	694,00	240,61	377,00	1067,00	10,00
Sloupec13	648,60	79,47	698,50	251,32	243,00	1028,00	10,00
Sloupec14	915,50	98,15	913,50	310,38	389,00	1438,00	10,00
Sloupec15	865,30	206,84	698,50	654,08	533,00	2697,00	10,00
Sloupec16	681,30	75,15	689,00	237,64	287,00	1220,00	10,00
Sloupec17	587,60	65,11	557,00	205,89	393,00	1070,00	10,00
Sloupec18	573,80	64,63	533,00	204,36	348,00	981,00	10,00
Sloupec19	822,90	135,42	760,50	428,25	368,00	1808,00	10,00
Sloupec20	825,90	102,31	848,50	323,55	434,00	1376,00	10,00
Sloupec21	985,90	112,05	1007,00	354,33	413,00	1534,00	10,00
prumer	764,21	97,98	736,76	309,85	387,48	1394,62	10,00

Třídy	Četnost	%
0	0	0,00
200	0	0,00
400	19	9,05
600	57	27,14
800	54	25,71
1000	37	17,62
1200	27	12,86
1400	6	2,86
1600	5	2,38
1800	2	0,95
2000	1	0,48
2200	1	0,48
2400	0	0,00
2600	0	0,00
2800	1	0,48



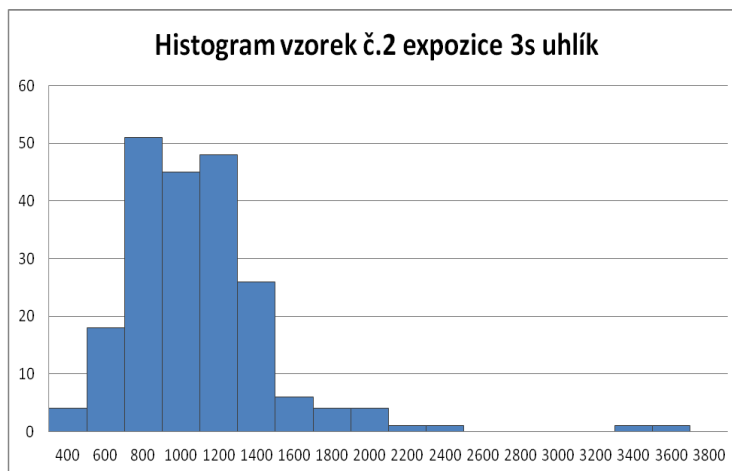


**Vzorek č. 2 expozice 3s Uhlík:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	907,76	65,64	881,00	300,78	399,00	1604,00	21,00
Řádek2	971,95	62,45	960,00	286,16	443,00	1371,00	21,00
Řádek3	967,71	48,31	1008,00	221,38	586,00	1283,00	21,00
Řádek4	1126,71	96,23	1092,00	440,99	537,00	2204,00	21,00
Řádek5	994,52	50,14	957,00	229,77	662,00	1455,00	21,00
Řádek6	928,33	72,47	881,00	332,11	374,00	1679,00	21,00
Řádek7	890,90	54,33	843,00	248,98	517,00	1497,00	21,00
Řádek8	881,71	80,82	876,00	370,36	351,00	1831,00	21,00
Řádek9	824,90	65,54	702,00	300,34	312,00	1732,00	21,00
Řádek10	1322,67	174,77	1035,00	800,91	525,00	3428,00	21,00
průměr	981,72	77,07	923,50	353,18	470,60	1808,40	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	1200,60	136,03	1109,50	430,17	662,00	2204,00	10,00
Sloupec2	1135,90	126,40	1022,00	399,72	616,00	2055,00	10,00
Sloupec3	1185,80	106,86	1061,50	337,91	721,00	1767,00	10,00
Sloupec4	951,70	80,73	960,50	255,30	351,00	1310,00	10,00
Sloupec5	708,60	41,43	730,50	131,01	443,00	866,00	10,00
Sloupec6	670,70	77,15	601,50	243,98	374,00	1085,00	10,00
Sloupec7	870,30	77,52	844,50	245,14	563,00	1350,00	10,00
Sloupec8	941,70	126,15	878,50	398,92	517,00	1911,00	10,00
Sloupec9	1258,60	248,34	1084,00	785,32	778,00	3428,00	10,00
Sloupec10	1076,70	83,25	1177,00	263,26	630,00	1449,00	10,00
Sloupec11	868,40	63,09	785,50	199,51	700,00	1312,00	10,00
Sloupec12	977,60	93,30	1070,00	295,04	506,00	1381,00	10,00
Sloupec13	1040,50	137,32	1005,50	434,23	312,00	1908,00	10,00
Sloupec14	1194,70	116,82	1226,00	369,42	631,00	1926,00	10,00
Sloupec15	1221,80	251,84	995,50	796,39	586,00	3382,00	10,00
Sloupec16	879,60	79,00	808,50	249,83	497,00	1297,00	10,00
Sloupec17	780,60	64,61	724,50	204,33	477,00	1062,00	10,00
Sloupec18	811,60	110,10	753,50	348,15	441,00	1679,00	10,00
Sloupec19	851,50	75,03	771,00	237,26	619,00	1371,00	10,00
Sloupec20	969,50	101,10	954,00	319,70	635,00	1423,00	10,00
Sloupec21	1019,70	122,35	1019,00	386,91	525,00	1831,00	10,00
průměr	981,72	110,40	932,50	349,12	551,62	1714,14	10,00

Třídy	Četnost	%
400	4	1,90
600	18	8,57
800	51	24,29
1000	45	21,43
1200	48	22,86
1400	26	12,38
1600	6	2,86
1800	4	1,90
2000	4	1,90
2200	1	0,48
2400	1	0,48
2600	0	0,00
2800	0	0,00
3000	0	0,00
3200	0	0,00
3400	1	0,48
3600	1	0,48
3800	0	0,00

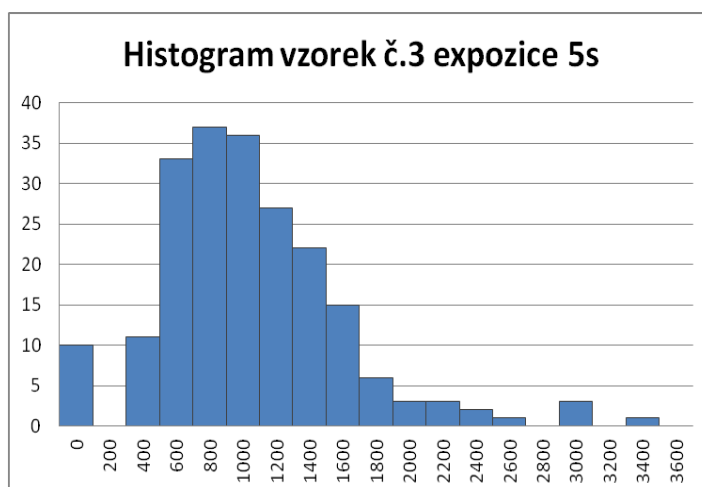


**Vzorek č. 3 expozice 5s Fosfor:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	525,71	46,12	501,00	211,34	252,00	1099,00	21,00
Řádek2	731,67	75,21	663,00	344,64	292,00	1501,00	21,00
Řádek3	809,29	73,63	740,00	337,41	286,00	1642,00	21,00
Řádek4	797,86	54,37	767,00	249,16	411,00	1274,00	21,00
Řádek5	1092,38	89,70	1101,00	411,07	440,00	1953,00	21,00
Řádek6	1057,90	65,36	1041,00	299,51	380,00	1675,00	21,00
Řádek7	1076,81	84,07	1055,00	385,26	488,00	2029,00	21,00
Řádek8	1169,48	87,06	1071,00	398,95	526,00	2201,00	21,00
Řádek9	1605,29	175,10	1589,00	802,41	642,00	3204,00	21,00
Řádek10	634,43	167,65	622,00	768,26	0,00	2899,00	21,00
průměr	950,08	91,83	915,00	420,80	371,70	1947,70	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	859,00	82,25	832,50	260,11	497,00	1264,00	10,00
Sloupec2	1033,50	64,47	1041,50	203,89	657,00	1313,00	10,00
Sloupec3	961,30	84,22	1081,00	266,33	580,00	1274,00	10,00
Sloupec4	917,20	110,49	929,50	349,40	469,00	1642,00	10,00
Sloupec5	829,00	120,88	773,50	382,25	345,00	1545,00	10,00
Sloupec6	1036,10	158,66	874,50	501,73	501,00	2156,00	10,00
Sloupec7	821,80	183,18	748,00	579,26	0,00	2267,00	10,00
Sloupec8	1138,80	247,48	1079,00	782,60	0,00	2932,00	10,00
Sloupec9	946,80	171,71	1036,50	543,01	0,00	1819,00	10,00
Sloupec10	1019,40	207,41	1226,00	655,88	0,00	2029,00	10,00
Sloupec11	1090,90	266,64	868,00	843,19	0,00	2830,00	10,00
Sloupec12	1166,40	232,13	1162,50	734,05	0,00	2451,00	10,00
Sloupec13	1291,30	289,74	1120,50	916,24	0,00	3204,00	10,00
Sloupec14	879,60	187,59	703,50	593,21	0,00	1743,00	10,00
Sloupec15	821,70	190,26	766,50	601,64	0,00	2038,00	10,00
Sloupec16	605,90	138,86	493,00	439,13	0,00	1473,00	10,00
Sloupec17	1015,70	245,37	827,00	775,92	300,00	2899,00	10,00
Sloupec18	924,80	127,62	838,50	403,57	497,00	1740,00	10,00
Sloupec19	780,50	69,68	739,00	220,35	414,00	1113,00	10,00
Sloupec20	882,80	92,31	889,00	291,92	570,00	1501,00	10,00
Sloupec21	929,20	83,35	959,00	263,57	380,00	1365,00	10,00
průměr	950,08	159,73	904,21	505,11	248,10	1933,24	10,00

Třidy	Četnost	%
0	10	4,76
200	0	0,00
400	11	5,24
600	33	15,71
800	37	17,62
1000	36	17,14
1200	27	12,86
1400	22	10,48
1600	15	7,14
1800	6	2,86
2000	3	1,43
2200	3	1,43
2400	2	0,95
2600	1	0,48
2800	0	0,00
3000	3	1,43
3200	0	0,00
3400	1	0,48
3600	0	0,00

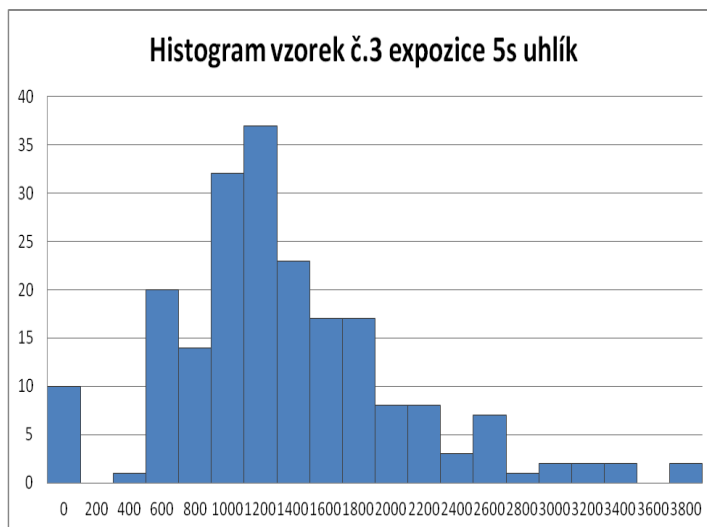


**Vzorek č. 3 expozice 5s Uhlík:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	738,24	59,53	776,00	272,79	389,00	1164,00	21,00
Řádek2	982,24	92,22	953,00	422,62	459,00	1777,00	21,00
Řádek3	934,52	76,04	897,00	348,46	492,00	1647,00	21,00
Řádek4	1117,43	89,58	1063,00	410,49	593,00	2083,00	21,00
Řádek5	1548,38	125,31	1374,00	574,26	728,00	3109,00	21,00
Řádek6	1486,52	103,24	1458,00	473,11	628,00	2485,00	21,00
Řádek7	1465,38	118,10	1209,00	541,19	683,00	2975,00	21,00
Řádek8	1662,19	138,82	1417,00	636,13	892,00	3118,00	21,00
Řádek9	2190,71	319,57	1469,00	1464,47	656,00	5573,00	21,00
Řádek10	1042,19	255,86	838,00	1172,50	0,00	3988,00	21,00
průměr	1316,78	137,83	1145,40	631,60	552,00	2791,90	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	1351,10	103,92	1432,00	328,61	838,00	1823,00	10,00
Sloupec2	1521,90	145,02	1605,00	458,60	781,00	2166,00	10,00
Sloupec3	1237,40	131,71	1159,00	416,49	656,00	2083,00	10,00
Sloupec4	1043,30	102,59	1078,00	324,43	495,00	1632,00	10,00
Sloupec5	961,90	154,45	834,00	488,41	461,00	2145,00	10,00
Sloupec6	1381,00	300,69	1142,50	950,85	520,00	3623,00	10,00
Sloupec7	1307,80	322,81	1140,50	1020,82	0,00	3817,00	10,00
Sloupec8	1601,50	477,26	1344,50	1509,21	0,00	5573,00	10,00
Sloupec9	1415,00	304,94	1346,50	964,30	0,00	3394,00	10,00
Sloupec10	1497,10	313,25	1646,50	990,59	0,00	2975,00	10,00
Sloupec11	1516,50	325,02	1305,00	1027,80	0,00	3221,00	10,00
Sloupec12	1788,50	359,03	1490,50	1135,35	0,00	3799,00	10,00
Sloupec13	1828,60	414,78	1601,00	1311,66	0,00	4660,00	10,00
Sloupec14	1274,40	260,55	1107,00	823,92	0,00	2519,00	10,00
Sloupec15	1009,50	207,69	975,50	656,78	0,00	2390,00	10,00
Sloupec16	914,90	177,22	857,50	560,41	0,00	1920,00	10,00
Sloupec17	1392,80	324,68	1324,00	1026,74	389,00	3988,00	10,00
Sloupec18	1252,70	194,69	1092,50	615,66	524,00	2406,00	10,00
Sloupec19	1193,40	147,23	1106,50	465,58	500,00	2228,00	10,00
Sloupec20	1142,60	128,63	1050,00	406,77	636,00	1781,00	10,00
Sloupec21	1020,50	63,23	1113,50	199,95	628,00	1255,00	10,00
průměr	1316,78	236,16	1226,26	746,81	306,10	2828,48	10,00

Třídy	Četnost	%
0	10	4,76
200	0	0,00
400	1	0,48
600	20	9,52
800	14	6,67
1000	32	15,24
1200	37	17,62
1400	23	10,95
1600	17	8,10
1800	17	8,10
2000	8	3,81
2200	8	3,81
2400	3	1,43
2600	7	3,33
2800	1	0,48
3000	2	0,95
3200	2	0,95
3400	2	0,95
3600	0	0,00
3800	2	0,95

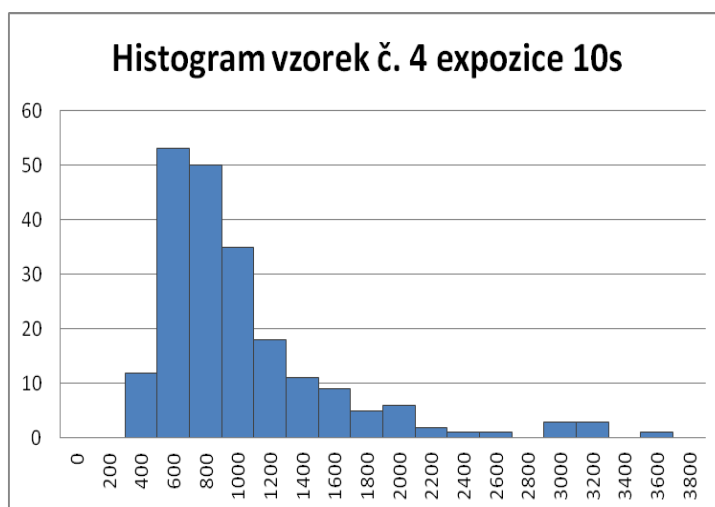


**Vzorek č. 4 expozice 10s Fosfor:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	583,76	42,71	528,00	195,73	330,00	1104,00	21,00
Řádek2	525,71	34,20	490,00	156,73	284,00	821,00	21,00
Řádek3	700,52	44,03	714,00	201,77	364,00	1041,00	21,00
Řádek4	664,10	39,90	626,00	182,85	421,00	1100,00	21,00
Řádek5	923,86	102,76	801,00	470,90	386,00	1915,00	21,00
Řádek6	892,19	91,00	837,00	417,02	351,00	1843,00	21,00
Řádek7	898,00	79,52	703,00	364,43	501,00	1816,00	21,00
Řádek8	1137,33	125,56	1078,00	575,38	361,00	2991,00	21,00
Řádek9	1229,62	109,39	1201,00	501,30	554,00	2429,00	21,00
Řádek10	1662,57	230,60	1145,00	1056,74	427,00	3522,00	21,00
průměr	921,77	89,97	812,30	412,28	397,90	1858,20	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	879,25	62,90	836,50	198,92	607,00	1219,00	10,00
Sloupec2	840,30	49,61	839,00	156,89	626,00	1145,00	10,00
Sloupec3	731,50	71,16	793,50	225,01	425,00	1100,00	10,00
Sloupec4	767,30	51,21	797,50	161,95	386,00	931,00	10,00
Sloupec5	626,60	53,55	625,50	169,36	344,00	921,00	10,00
Sloupec6	568,80	42,96	532,00	135,86	413,00	801,00	10,00
Sloupec7	640,85	60,90	656,50	192,58	370,00	869,00	10,00
Sloupec8	1054,30	207,99	865,50	657,71	423,00	2158,00	10,00
Sloupec9	1121,10	201,70	955,00	637,84	365,00	2288,00	10,00
Sloupec10	1263,80	258,17	1255,50	816,41	390,00	3079,00	10,00
Sloupec11	1413,10	242,45	1380,50	766,68	473,00	2835,00	10,00
Sloupec12	1494,20	307,46	1196,00	972,28	387,00	3154,00	10,00
Sloupec13	1383,40	284,89	1233,50	900,89	448,00	3522,00	10,00
Sloupec14	1115,80	231,79	1025,00	732,98	330,00	2850,00	10,00
Sloupec15	1081,70	248,93	876,50	787,19	416,00	3029,00	10,00
Sloupec16	947,40	144,93	733,00	458,31	504,00	1918,00	10,00
Sloupec17	659,00	121,62	513,50	384,58	284,00	1572,00	10,00
Sloupec18	668,60	76,40	647,00	241,58	361,00	1122,00	10,00
Sloupec19	611,50	81,43	568,50	257,49	351,00	1116,00	10,00
Sloupec20	689,00	82,49	664,00	260,86	412,00	1277,00	10,00
Sloupec21	799,60	110,33	655,00	348,90	412,00	1381,00	10,00
prumer	921,77	142,52	840,43	450,68	415,57	1823,19	10,00

Třída	Četnost	%
0	0	0,00
200	0	0,00
400	12	5,71
600	53	25,24
800	50	23,81
1000	35	16,67
1200	18	8,57
1400	11	5,24
1600	9	4,29
1800	5	2,38
2000	6	2,86
2200	2	0,95
2400	1	0,48
2600	1	0,48
2800	0	0,00
3000	3	1,43
3200	3	1,43
3400	0	0,00
3600	1	0,48
3800	0	0,00

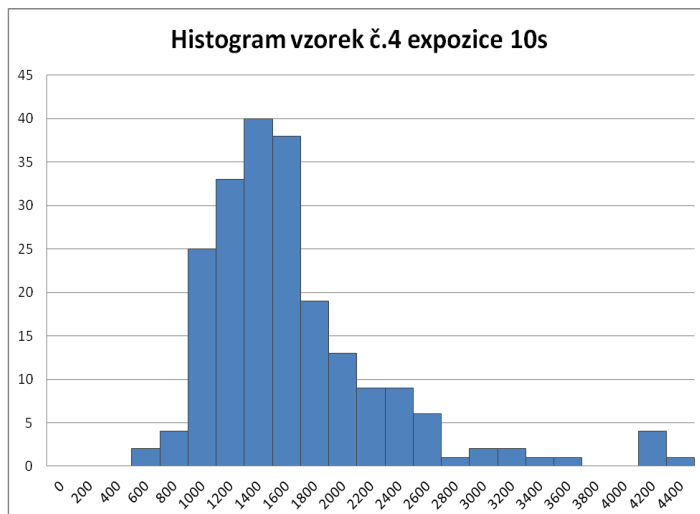


**Vzorek č. 4 expozice 10s Uhlík:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	1223,19	62,14	1143,00	284,78	854,00	1907,00	21,00
Řádek2	1102,81	64,28	1110,00	294,57	571,00	1818,00	21,00
Řádek3	1319,71	84,68	1249,00	388,06	625,00	2279,00	21,00
Řádek4	1447,14	73,79	1436,00	338,14	815,00	1984,00	21,00
Řádek5	1636,81	133,11	1328,00	610,00	967,00	3006,00	21,00
Řádek6	1484,95	98,92	1433,00	453,32	832,00	2488,00	21,00
Řádek7	1451,05	77,44	1405,00	354,88	964,00	2301,00	21,00
Řádek8	1685,90	152,87	1502,00	700,56	897,00	4106,00	21,00
Řádek9	1838,67	118,95	1731,00	545,10	1019,00	2938,00	21,00
Řádek10	2296,19	269,14	1692,00	1233,34	409,00	4335,00	21,00
průměr	1548,64	113,53	1402,90	520,27	795,30	2716,20	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	1484,30	94,76	1450,50	299,66	1047,00	2060,00	10,00
Sloupec2	1598,80	113,85	1556,00	360,02	1143,00	2279,00	10,00
Sloupec3	1427,50	104,68	1373,00	331,02	991,00	2102,00	10,00
Sloupec4	1324,90	71,68	1304,50	226,67	967,00	1597,00	10,00
Sloupec5	1178,90	75,56	1189,50	238,94	761,00	1657,00	10,00
Sloupec6	1187,90	70,91	1163,00	224,24	815,00	1544,00	10,00
Sloupec7	1358,30	115,06	1403,00	363,84	904,00	1860,00	10,00
Sloupec8	1776,90	197,05	1578,50	623,12	1212,00	3132,00	10,00
Sloupec9	1685,70	200,73	1508,50	634,76	851,00	2893,00	10,00
Sloupec10	1972,80	319,10	1668,50	1009,09	981,00	4160,00	10,00
Sloupec11	1927,40	265,20	1958,00	838,63	965,00	3561,00	10,00
Sloupec12	2172,90	362,29	1763,50	1145,67	1071,00	4335,00	10,00
Sloupec13	1939,40	292,89	1646,50	926,19	939,00	4112,00	10,00
Sloupec14	1749,90	259,88	1645,00	821,82	845,00	3351,00	10,00
Sloupec15	1738,00	278,70	1461,00	881,32	994,00	4019,00	10,00
Sloupec16	1497,80	180,95	1267,50	572,22	964,00	2503,00	10,00
Sloupec17	1182,70	106,58	1145,50	337,05	571,00	1692,00	10,00
Sloupec18	1279,10	120,94	1246,50	382,46	764,00	1984,00	10,00
Sloupec19	1300,90	157,54	1175,00	498,19	625,00	2205,00	10,00
Sloupec20	1322,10	151,49	1342,00	479,05	409,00	2277,00	10,00
Sloupec21	1415,30	191,90	1243,50	606,84	703,00	2558,00	10,00
průměr	1548,64	177,70	1432,81	561,94	882,00	2661,00	10,00

Třída	Četnost	%
600	2	0,95
800	4	1,90
1000	25	11,90
1200	33	15,71
1400	40	19,05
1600	38	18,10
1800	19	9,05
2000	13	6,19
2200	9	4,29
2400	9	4,29
2600	6	2,86
2800	1	0,48
3000	2	0,95
3200	2	0,95
3400	1	0,48
3600	1	0,48
3800	0	0,00
4000	0	0,00
4200	4	1,90
4400	1	0,48

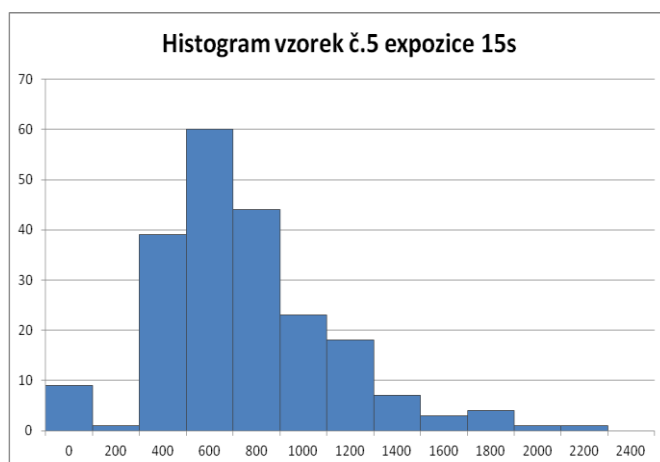


**Vzorek č. 5 expozice 15s Fosfor:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	399,0476	27,51238	384	126,0775	208	635	21
Řádek2	433,619	33,71826	389	154,5165	131	731	21
Řádek3	592,9048	45,39787	534	208,0392	322	1065	21
Řádek4	651,9524	59,90244	635	274,5075	287	1158	21
Řádek5	744,619	73,18071	701	335,3562	309	1543	21
Řádek6	792,381	83,01367	688	380,4164	243	1811	21
Řádek7	807,7143	77,48745	769	355,0921	380	1768	21
Řádek8	687,1905	55,51613	645	254,4069	302	1311	21
Řádek9	900,619	93,50339	916	428,4863	354	1746	21
Řádek10	561,1429	130,3482	557	597,3304	0	2101	21
průměr	657,119	67,95805	621,8	311,4229	253,6	1386,9	21

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	543,40	83,78	506,00	264,94	237,00	1098,00	10,00
Sloupec2	574,20	79,34	513,00	250,90	252,00	1046,00	10,00
Sloupec3	653,30	68,96	598,00	218,06	423,00	1178,00	10,00
Sloupec4	556,10	53,87	536,00	170,37	309,00	905,00	10,00
Sloupec5	593,70	74,25	559,00	234,79	287,00	1052,00	10,00
Sloupec6	639,10	167,65	477,00	530,17	243,00	2101,00	10,00
Sloupec7	669,00	116,73	735,00	369,12	0,00	1092,00	10,00
Sloupec8	692,10	113,82	728,00	359,94	0,00	1212,00	10,00
Sloupec9	795,80	165,46	758,50	523,24	0,00	1727,00	10,00
Sloupec10	861,50	176,50	822,00	558,15	0,00	1768,00	10,00
Sloupec11	839,60	163,97	864,50	518,53	0,00	1746,00	10,00
Sloupec12	904,90	173,09	1018,50	547,37	0,00	1811,00	10,00
Sloupec13	741,50	138,08	713,00	436,65	0,00	1421,00	10,00
Sloupec14	712,90	121,46	779,00	384,08	0,00	1256,00	10,00
Sloupec15	554,90	95,27	630,00	301,26	0,00	948,00	10,00
Sloupec16	668,90	86,84	674,50	274,60	346,00	1159,00	10,00
Sloupec17	619,20	107,55	556,00	340,10	233,00	1400,00	10,00
Sloupec18	505,50	91,80	383,50	290,31	311,00	1178,00	10,00
Sloupec19	507,40	44,80	481,50	141,67	302,00	794,00	10,00
Sloupec20	572,10	41,07	581,50	129,88	354,00	731,00	10,00
Sloupec21	594,40	99,23	521,50	313,80	208,00	1276,00	10,00
průměr	657,12	107,79	639,81	340,85	166,90	1280,90	10,00

Třídy	Četnost	%
0	9	4,29
200	1	0,48
400	39	18,57
600	60	28,57
800	44	20,95
1000	23	10,95
1200	18	8,57
1400	7	3,33
1600	3	1,43
1800	4	1,90
2000	1	0,48
2200	1	0,48
2400	0	0,00

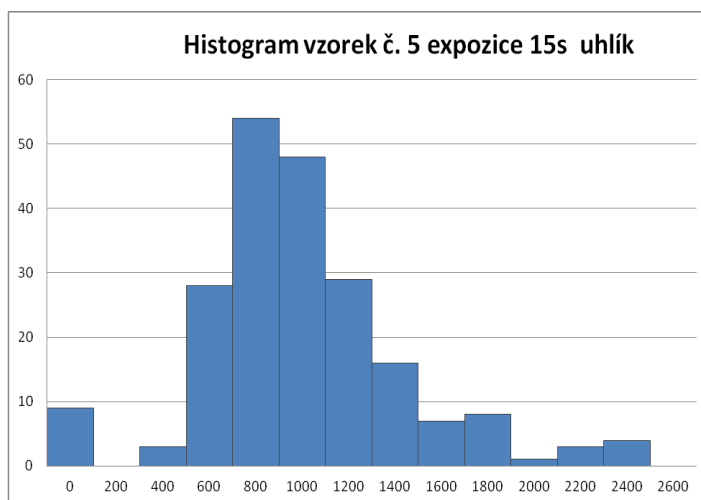


**Vzorek č. 5 expozice 15s Uhlík:**

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Řádek1	673,57	41,92	628,00	192,08	383,00	1180,00	21,00
Řádek2	699,48	44,29	668,00	202,97	342,00	1086,00	21,00
Řádek3	900,43	56,55	837,00	259,15	583,00	1615,00	21,00
Řádek4	886,14	78,54	780,00	359,93	450,00	1776,00	21,00
Řádek5	962,52	84,18	905,00	385,77	489,00	2204,00	21,00
Řádek6	1053,81	95,72	944,00	438,64	370,00	2357,00	21,00
Řádek7	1022,29	91,68	940,00	420,11	499,00	2136,00	21,00
Řádek8	928,90	65,19	817,00	298,74	589,00	1831,00	21,00
Řádek9	1141,14	110,18	997,00	504,89	623,00	2364,00	21,00
Řádek10	788,90	165,16	944,00	756,86	0,00	2153,00	21,00
průměr	905,72	83,34	846,00	381,91	432,80	1870,20	21,00

	Stř. hodnota	Chyba stř. hodnoty	Medián	Směr. odchylka	Minimum	Maximum	Počet
Sloupec1	795,30	74,42	781,50	235,33	530,00	1253,00	10,00
Sloupec2	893,80	109,25	839,50	345,47	486,00	1419,00	10,00
Sloupec3	903,10	71,51	877,50	226,14	600,00	1441,00	10,00
Sloupec4	820,90	52,52	776,00	166,07	570,00	1131,00	10,00
Sloupec5	875,80	110,55	815,00	349,58	485,00	1728,00	10,00
Sloupec6	837,70	157,50	722,00	498,07	370,00	2153,00	10,00
Sloupec7	899,20	137,85	1071,00	435,93	0,00	1466,00	10,00
Sloupec8	811,00	131,92	776,00	417,17	0,00	1536,00	10,00
Sloupec9	1066,40	211,94	1040,50	670,22	0,00	2289,00	10,00
Sloupec10	1054,50	190,99	1032,00	603,97	0,00	2136,00	10,00
Sloupec11	1199,10	216,12	1249,50	683,44	0,00	2364,00	10,00
Sloupec12	1306,50	224,00	1174,50	708,36	0,00	2357,00	10,00
Sloupec13	883,30	156,64	725,50	495,35	0,00	1718,00	10,00
Sloupec14	991,50	147,74	982,50	467,20	0,00	1603,00	10,00
Sloupec15	808,80	114,28	931,50	361,38	0,00	1121,00	10,00
Sloupec16	852,90	73,52	821,00	232,48	547,00	1330,00	10,00
Sloupec17	848,80	105,62	861,50	334,00	530,00	1690,00	10,00
Sloupec18	754,30	123,58	608,00	390,79	506,00	1786,00	10,00
Sloupec19	801,70	42,25	793,50	133,60	589,00	1005,00	10,00
Sloupec20	787,70	59,31	725,00	187,55	608,00	1143,00	10,00
Sloupec21	827,80	95,21	824,00	301,07	424,00	1382,00	10,00
průměr	905,72	124,13	877,50	392,53	297,38	1621,48	10,00

Třída	Četnost	%
0	9	4,29
200	0	0,00
400	3	1,43
600	28	13,33
800	54	25,71
1000	48	22,86
1200	29	13,81
1400	16	7,62
1600	7	3,33
1800	8	3,81
2000	1	0,48
2200	3	1,43
2400	4	1,90
2600	0	0,00

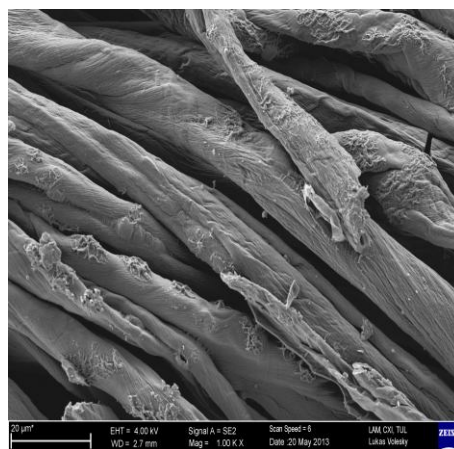
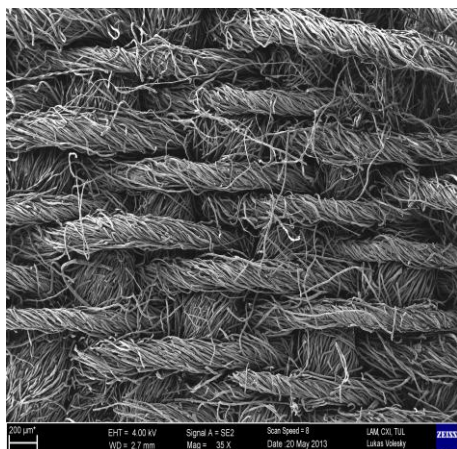




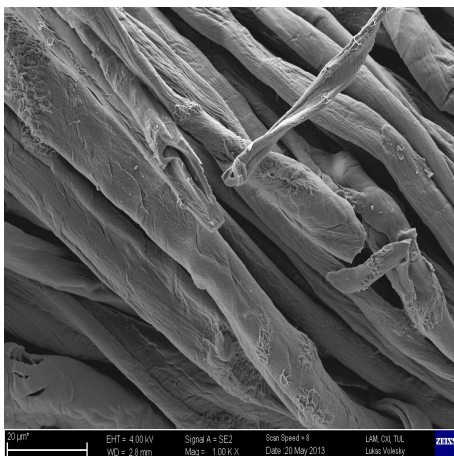
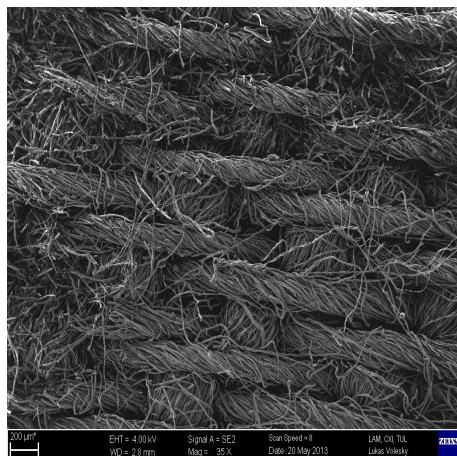
## Příloha 4 Fotografie z EDS vzorku č. 4 expozice plamenem 10s

V levém sloupci je vidět poškození bavlny a v levém je větší přiblížení.

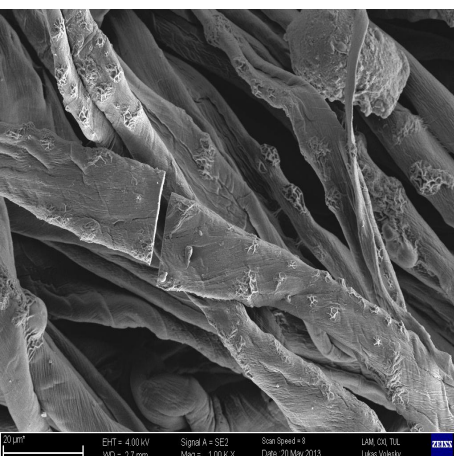
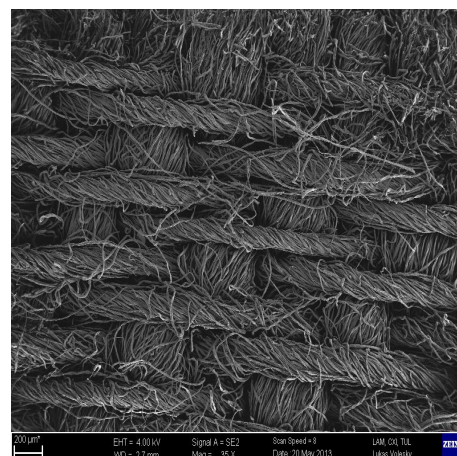
Měření č. 1:



Měření č. 2:

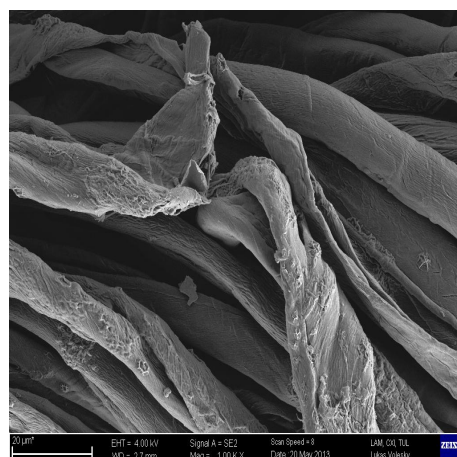
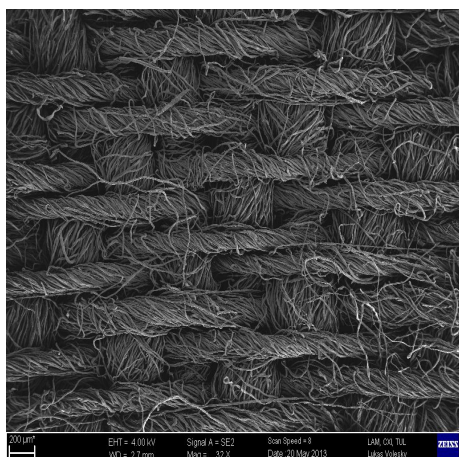


Měření č. 3:

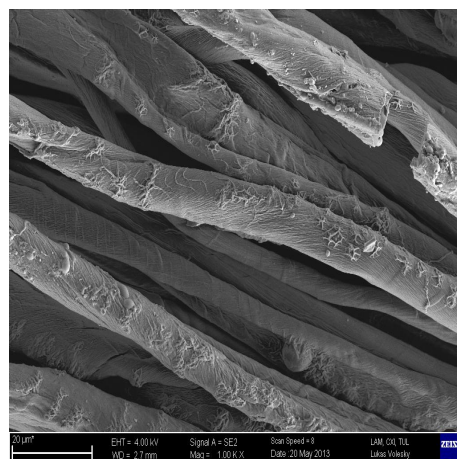
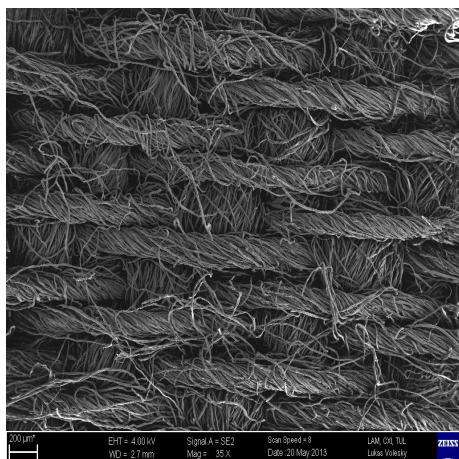




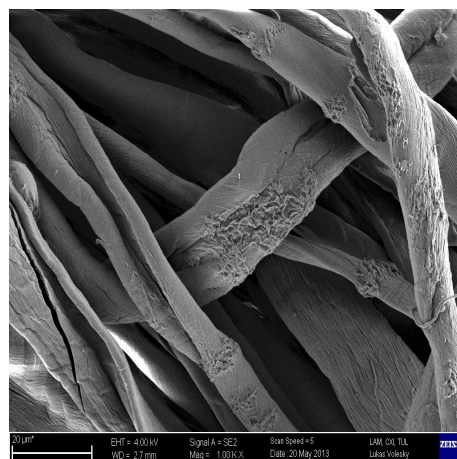
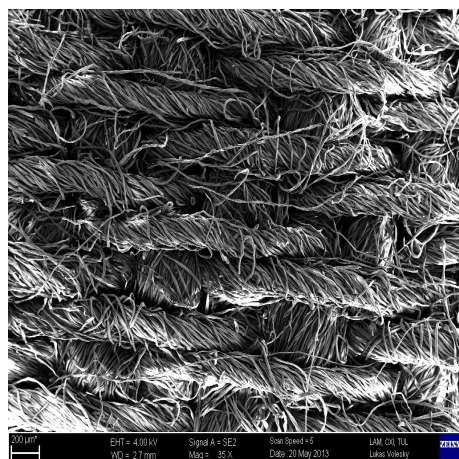
**Měření č. 4:**



**Měření č. 5:**

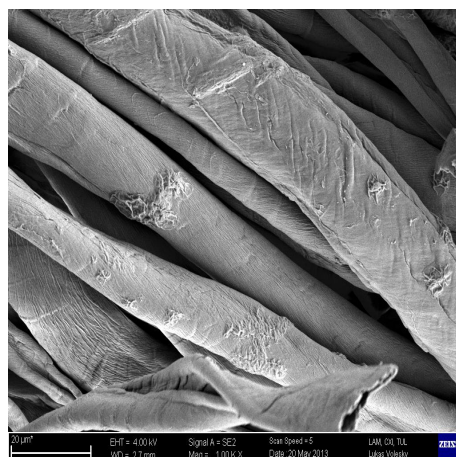
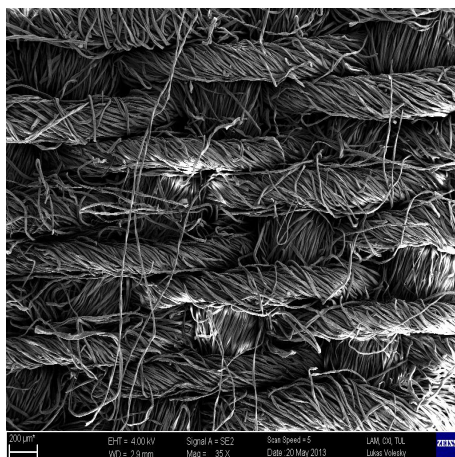


**Měření č. 6:**

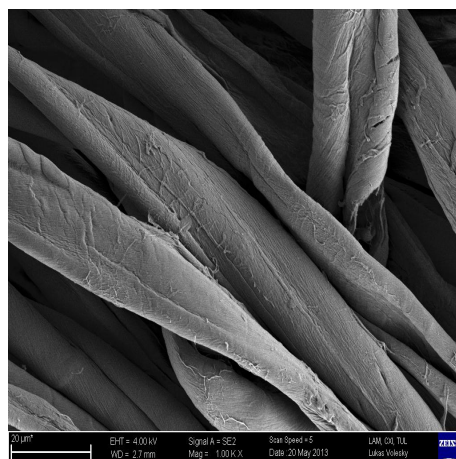
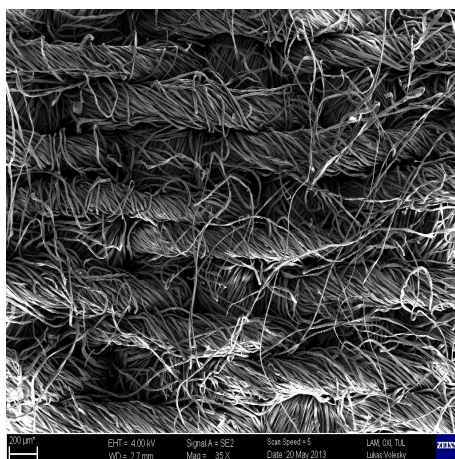




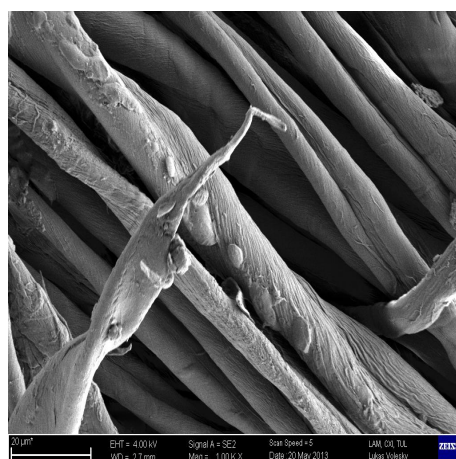
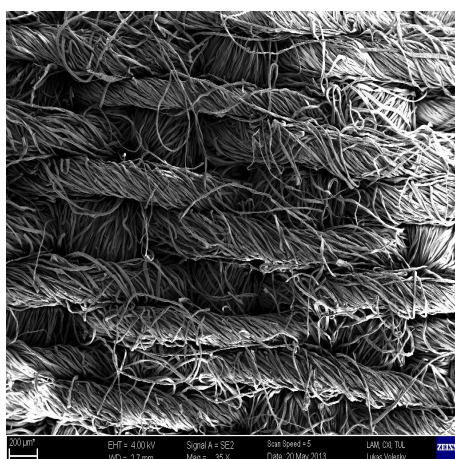
**Měření č. 7:**



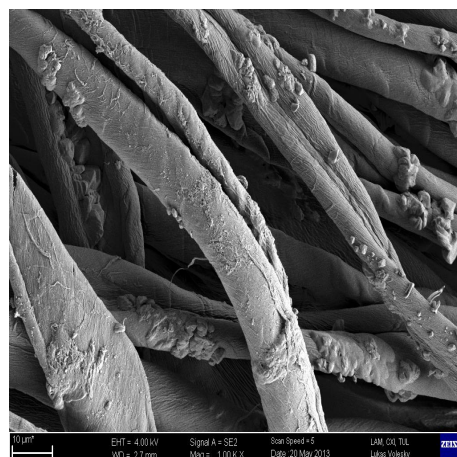
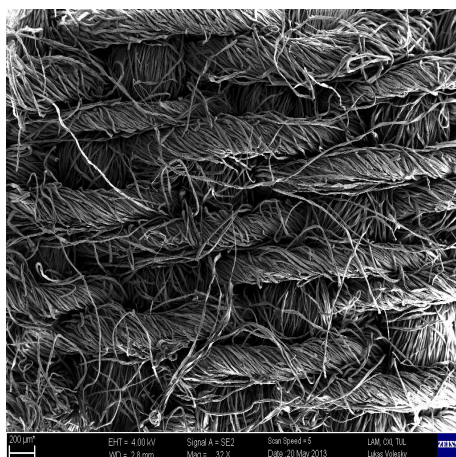
**Měření č. 8:**



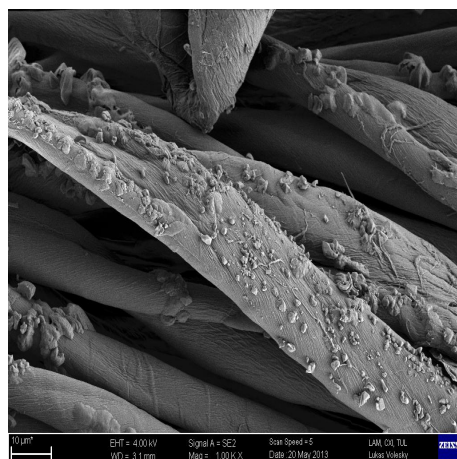
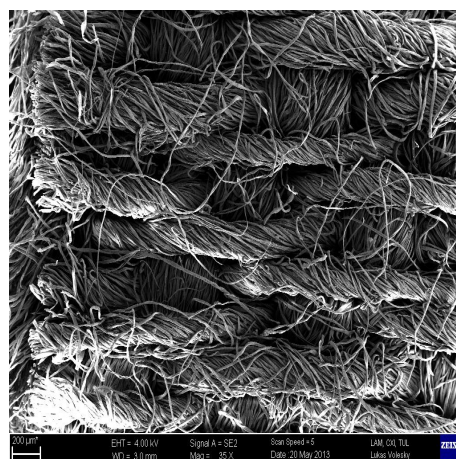
**Měření č. 9:**



**Měření č. 10:**



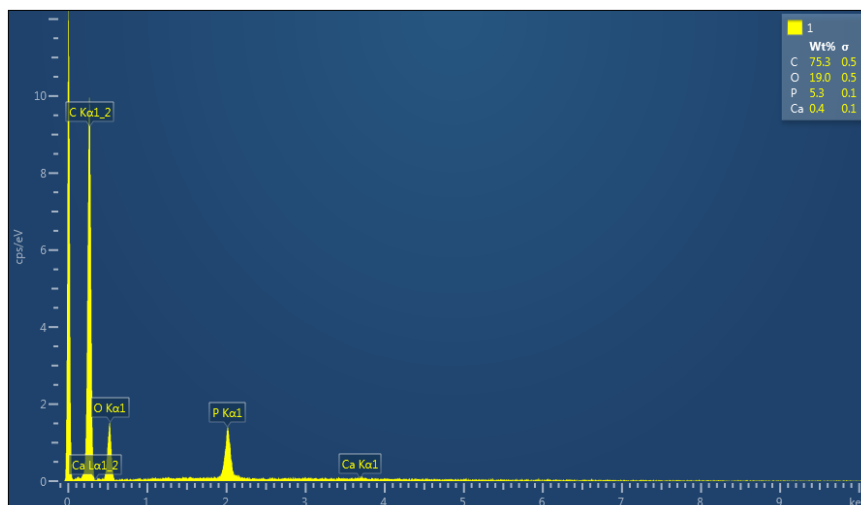
**Měření č. 11:**



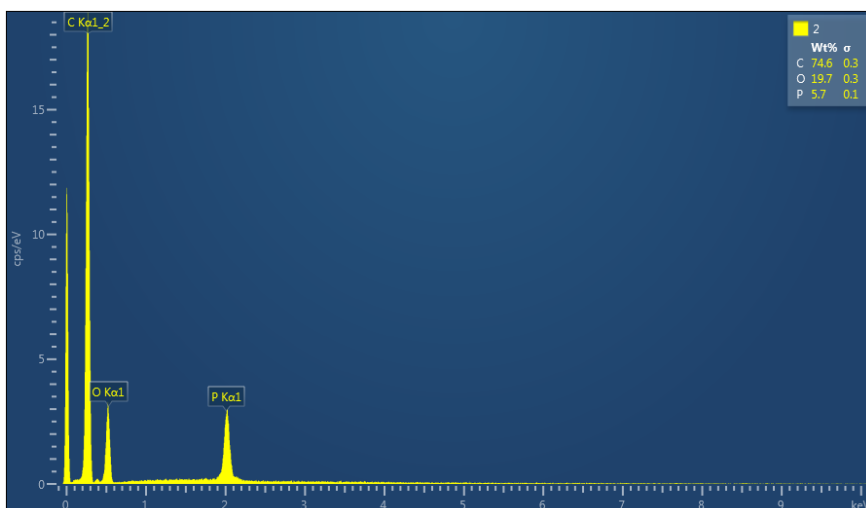


## Příloha 5 Jednotlivá spektra z měření EDS vzorku č.4:

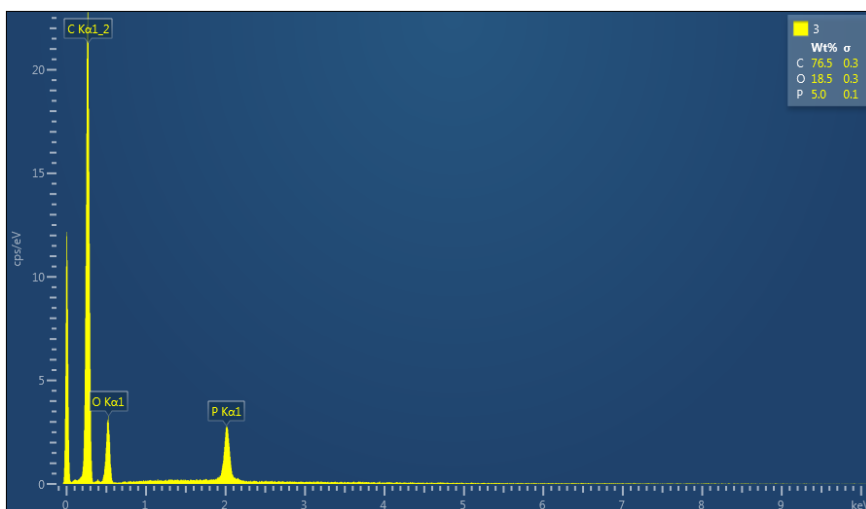
### Měření č. 1:



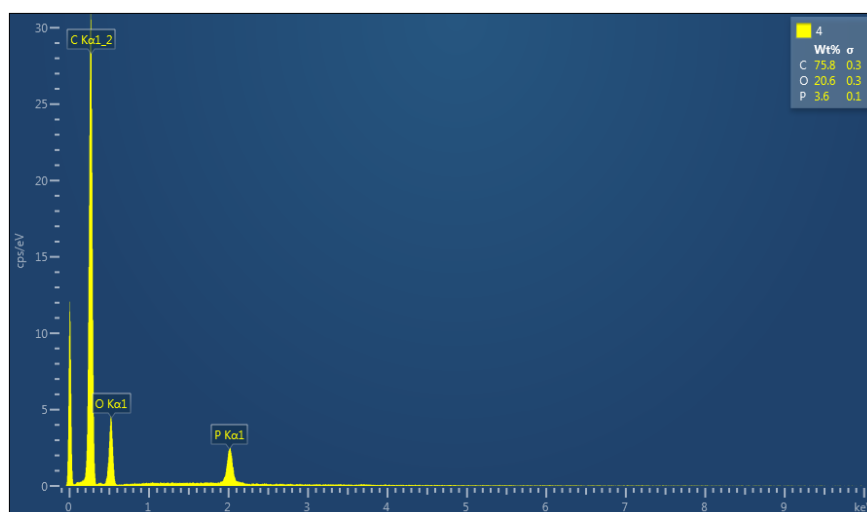
### Měření č. 2:



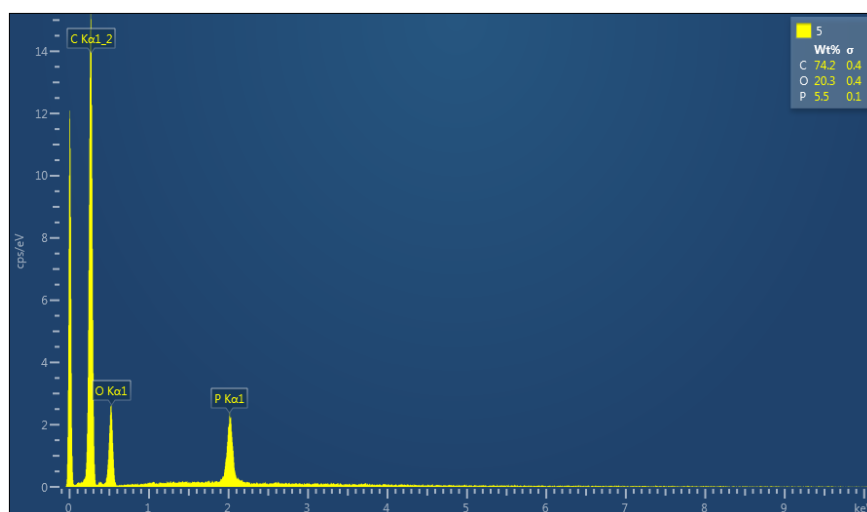
### Měření č. 3:



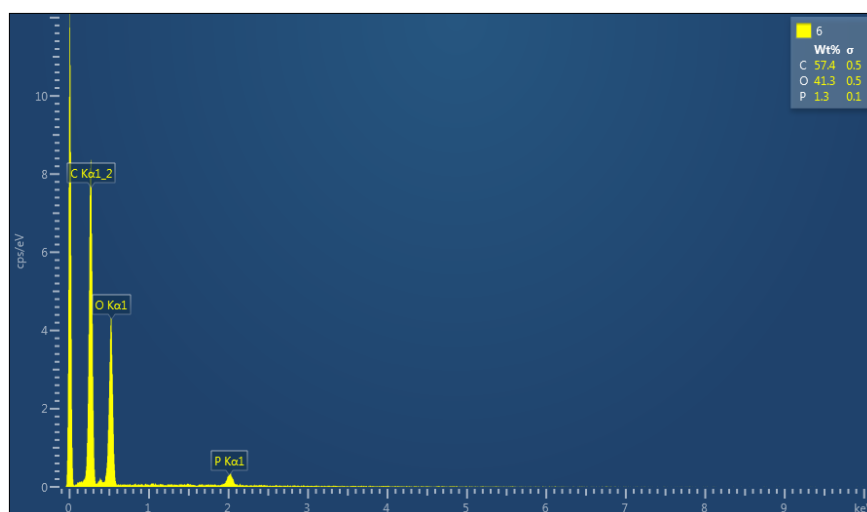
**Měření č. 4:**



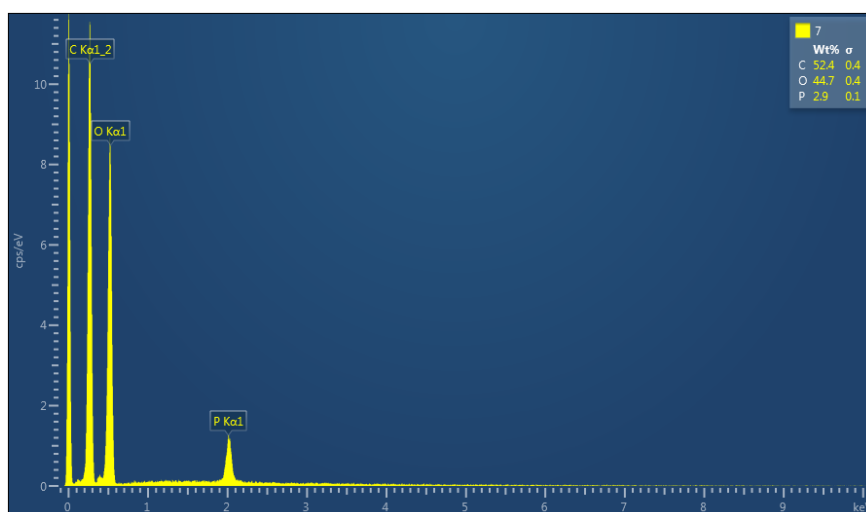
**Měření č. 5:**



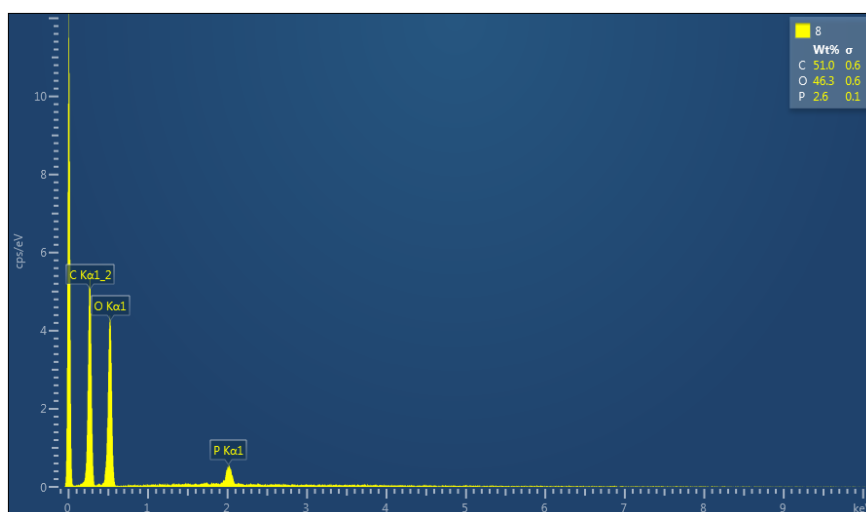
**Měření č. 6:**



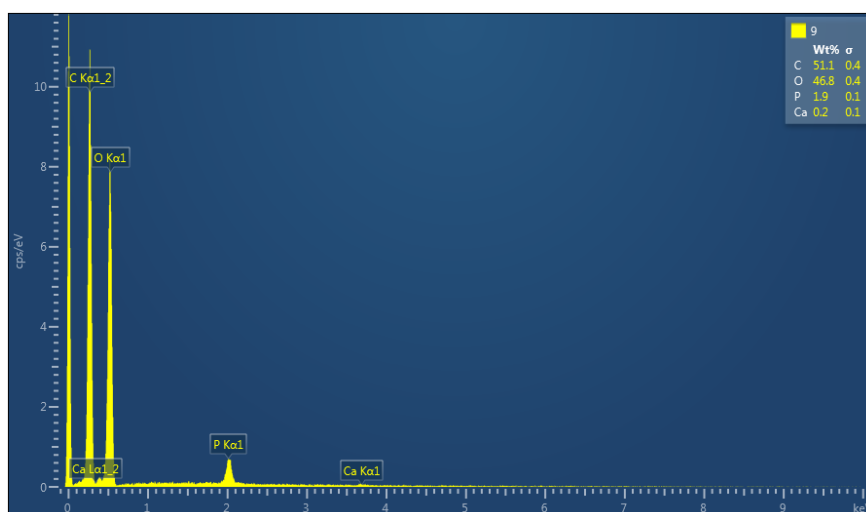
**Měření č. 7:**



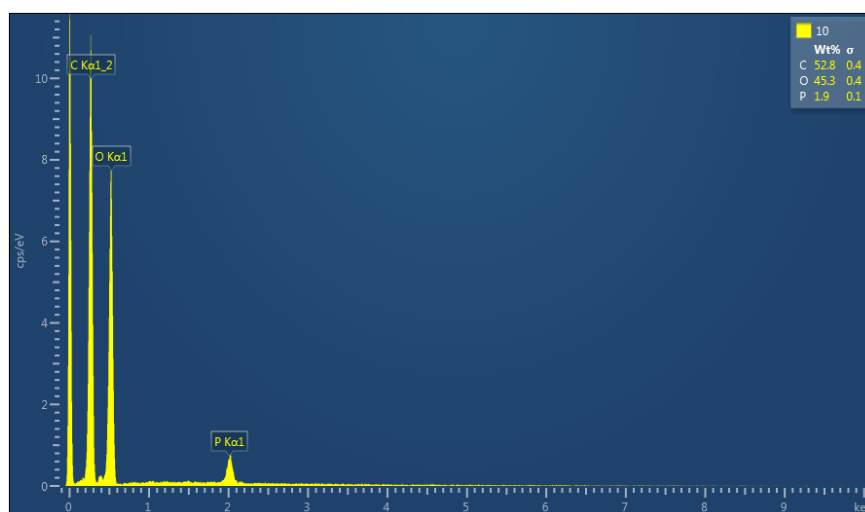
**Měření č. 8:**



**Měření č. 9:**



**Měření č. 10:**



**Měření č. 11:**

